

25643 / H106



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

TUGAS AKHIR

LL 1327

STUDI PERANCANGAN *OUTFALL* PADA SISTEM
PEMBUANGAN LIMBAH DI PERUMAHAN PANTAI
TIMUR SURABAYA



RSke
620.3
Kri
5.1
2006

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	14 - 2 - 2006
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	

Oleh :

FRISKA ADITYAS KRISMARIANI

NRP. 4301.100.044

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

2006

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PERANCANGAN *OUTFALL* PADA SISTEM PEMBUANGAN LIMBAH DI PERUMAHAN PANTAI TIMUR SURABAYA



Nama : Friska Adityas Krismariani
NRP : 4301.100.044

Surabaya, 6/2/2006

Mengetahui/Menyetujui

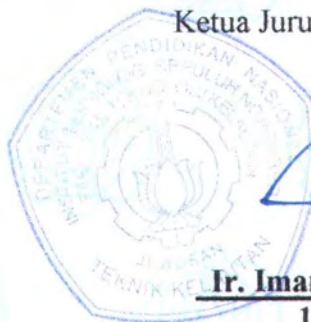
Pembimbing I

Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc
132 048 145

Pembimbing II

Dr. Ir. Mukhtasor, M.Eng
132 105 583

Ketua Jurusan Teknik Kelautan



Ir. Imam Rochani, M.Sc
131 417 209

Abstrak

Oleh : Friska Adityas Krismariani

Dosen Pembimbing : Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc., Mukhtasor, Ph.D

Ocean outfall merupakan salah satu teknologi yang merupakan solusi untuk mengatasi masalah pencemaran laut yang makin meningkat belakangan ini. Salah satunya yaitu pencemaran yang berasal dari limbah rumah tangga. Studi kasus tugas akhir ini yaitu pada sistem pembuangan limbah perumahan Pantai Timur Surabaya. Dari perancangan yang dilakukan didapatkan nilai *initial dilution* untuk kedalaman yang dipilih yaitu pada kedalaman 4 meter sebesar 14,89. Nilai *secondary dilution* dan nilai *dilution* karena *bacterial decay* pada kedalaman tersebut masing-masing sebesar 343,64 dan 309,28. Kemudian didapatkan konsentrasi BOD sebesar 0,59 mg/l dan konsentrasi coliform sebesar 315,46 MPN/100 ml. Nilai konsentrasi BOD dan *coliform* tersebut memenuhi persyaratan Standar Baku Mutu Lingkungan Hidup 2004, yang mana untuk BOD kurang dari 10 mg/l dan untuk coliform kurang dari 1000 MPN/100 ml. Selanjutnya didapatkan pipa *outfall* dengan lokasi dari perumahan Laguna Indah sampai dengan jarak 2 km ke laut, yaitu sampai dengan kedalaman 4 meter. Untuk spesifikasi pipanya sendiri didapatkan diameter pipa 0,46 m dengan tebal 0,1 m dan menggunakan material berupa *concrete pipe*. Untuk sistem perlindungannya menggunakan *buried pipe* dengan *trench* dan proteksi katodik. Sedangkan analisa stabilitasnya memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan oleh standard DnV baik untuk stabilitas vertikal maupun lateral.

Kata-kata kunci : *waste water treatment, ocean outfall, initial dilution, stabilitas*

Abstract

By : Friska Adityas Krismariani

Under Supervision : Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc., Mukhtasor, Ph.D

Ocean outfall is one of the appropriate technology for handling ocean pollution which gradually increase in this recent times. One of the pollution is from domestic sewage. The case study for this final project is in the sewage treatment of Surabaya East Coast Housing. The initial dilution value for the 4 meters depth is 14,89. The secondary dilution value is 343,64 and the dilution value because of bacterial decay is 309,28. The BOD concentration is 0,59 mg/l and the coliform concentration is 315,46 MPN/100 ml. The value of BOD and coliform concentration comply with the requirement based on Standar Baku Mutu Kementrian Lingkungan Hidup 2004. The location for the outfall pipe will be from Laguna Indah Housing into 2 km of the sea to reach 4 meters depth. The outside diameter of pipe is 0,46 m in with the wall thickness is 0,1 m and using concrete pipe. The recommended protection system are buried pipe with trench and cathodic protection. The pipeline stability including horizontal and vertical stability comply with the requirement based on the DnV rules.

Key words : *waste water treatment, ocean outfall, initial dilution, stability.*

Kata Pengantar

Puji syukur ke hadirat Bapa di surga atas kasih dan karuniaNya yang besar telah memberikan cinta, kekuatan, dan pengharapan sehingga penulis dapat menyelesaikan draft tugas akhir ini dengan baik.

Tak lupa dalam kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Papa, Mama, Eri dan Hemi yang selalu memberikan motivasi kepada penulis.
2. Hendri Sudjianto, ST yang telah memberikan dukungan moril, spiritual dan materiil.
3. Bapak Ir. Hasan Ikhwan, MSc sebagai dosen pembimbing pertama.
4. Bapak Mukhtasor, Ph.D sebagai dosen pembimbing kedua..
5. Bapak Ir. Imam Rochani, MSc selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan - ITS.
6. Bapak Dr. Ir. Handayanu, MSc selaku sekretaris Jurusan Teknik Kelautan – ITS.
7. Seluruh dosen penguji yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.
8. Bapak Ismanto yang telah membantu dalam proses pengambilan data.
9. Teman – teman 2001 terutama Nining yang selalu memotivasi untuk lulus bersama.
10. Seluruh pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung terutama Nurul Charimawati.

Penulis berharap tugas akhir ini dapat berguna bagi semua pihak pada umumnya dan bagi mahasiswa Teknik Kelautan pada khususnya. Tak lupa penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menambah kelengkapan dan kesempurnaan di masa selanjutnya. Apabila ada kata-kata yang salah, mohon maaf yang sebesar-besarnya. Akhir kata, atas perhatiannya penulis mengucapkan banyak terima kasih. Tuhan memberkati.

Surabaya, 3 Februari 2006

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal
Halaman Judul	
Lembar Pengesahan	i
Abstrak	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
Daftar Tabel	vii
Daftar Gambar	ix
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Karakteristik Limbah dan Pengolahannya	5
2.1.1 Karakteristik Limbah Rumah Tangga	5
2.1.2 Pengolahan Limbah Pembuangan	6
2.1.2.1 <i>Preliminary Treatment</i>	7
2.1.2.2 <i>Primary Treatment</i>	7
2.1.2.3 <i>Secondary Treatment</i>	8
2.2 Teknologi <i>Ocean Outfall</i>	10
2.2.1 Definisi <i>Outfall</i>	10
2.2.2 Perancangan <i>Outfall</i>	11
2.2.2.1 Penentuan Debit	12
2.2.2.2 Menganalisa Stabilitas <i>Plume</i> dan Hidrolika Pipa	14

2.2.2.3 Penentuan dan Perhitungan Pompa	16
2.2.2.4 Menentukan Besarnya <i>Initial Dilution</i>	18
2.2.2.5 Menentukan Lokasi dan Rute Pipa <i>Outfall</i>	25
2.2.2.6 Menentukan Kedalaman <i>Port</i>	25
2.2.2.7 Menentukan Jenis Pipa dan Joint-Jointnya	26
2.2.2.8 Menentukan Parameter Pipa	27
2.2.2.9 Menentukan Sistem Perlindungan Pipa	28
2.3 Analisa Hasil Perancangan	31
2.3.1 Penentuan Teori Gelombang	31
2.3.2 Analisa Stabilitas Lateral	33
2.3.3 Analisa Stabilitas Vertikal	35

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

BAB 4 : GAMBARAN WILAYAH STUDI

4.1 Perumahan Pantai Timur Surabaya	41
4.2 <i>Existing treatment</i>	43
4.3 Dasar-Dasar Pemilihan Lokasi	43
4.4 Keadaan Hidro Oseanografi	44
4.4.1 Data Gelombang	44
4.4.2 Pasang Surut	44
4.4.3 Pola Arus	45

BAB 5 : PERANCANGAN OCEAN OUTFALL

5.1 Penentuan Debit Limbah Sebelum Pengolahan	47
5.1.1 Debit Limbah Untuk Perumahan Bumi Marina Emas	47
5.1.2 Debit Limbah Untuk Perumahan Laguna Indah	48
5.2 Penentuan Debit Limbah Setelah Pengolahan	48
5.3 Analisa <i>Stabilitas Plume</i> , Hidrolika	52
5.4 Penentuan dan Perhitungan Pompa	53
5.5 Penentuan <i>Initial Dilution</i>	54
5.6 Skenario Rute	61
5.7 Analisa Pola Arus	63
5.8 Penentuan <i>Secondary Dilution</i> dan Bacterial Decay	63

5.9	Analisa Stabilitas Pipa	66
5.9.1	Stabilitas Vertikal	67
5.9.2	Stabilitas Lateral	68
5.10	Penentuan Lokasi dan Rute Pipa	70
5.11	Penentuan Kedalaman <i>Port</i>	70
5.10	Penentuan Jenis Pipa dan Joint-jointnya	71
5.11	Penentuan Parameter Pipa	71
5.12	Penentuan Sistem Perlindungan Pipa	72

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

6.1	Kesimpulan	76
6.2	Saran	78

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Rata-Rata Aliran Air Limbah dari Daerah Pemukiman	14
Tabel 2.2 <i>Weights and Dimensions of Standard Reinforced Concrete Subaqueous Pipe</i> (Grace, 1978)	27
Tabel 2.3 <i>Utilization Factor</i> (Thohiroh, 2005)	29
Tabel 2.4 Rekomendasi Koefisien Hidrodinamis Desain Pipa (Mousselli, 1981)	33
Tabel 4.1 Data Perumahan Bumi Marina Emas Surabaya (Hasil Kuisisioner)	42
Tabel 4.2 Data Perumahan Laguna Indah Surabaya (Hasil Kuisisioner)	42
Tabel 4.3 Data Lingkungan Pantai Timur Surabaya (Rahayu, 2005)	45
Tabel 5.1 Penentuan Debit Berdasarkan Rata-rata Air Limbah Setelah Pengolahan	52
Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Analisa Stabilitas <i>Plume</i>	53
Tabel 5.3 Iterasi Perhitungan <i>Initial Dilution</i> Arus Maksimum	55
Tabel 5.4 Iterasi Perhitungan <i>Initial Dilution</i> Arus Rata-Rata	56
Tabel 5.5 Iterasi Perhitungan <i>Initial Dilution</i> Arus Minimum	56
Tabel 5.6 Iterasi Perhitungan <i>Initial Dilution</i> Arus Maksimum (Lee & Cheung, 1991)	57
Tabel 5.7 Iterasi Perhitungan <i>Initial Dilution</i> Arus Rata-Rata (Lee and Cheung, 1991)	58
Tabel 5.8 Iterasi Perhitungan <i>Initial Dilution</i> Arus Minimum (Lee and Cheung, 1991)	58
Tabel 5.9 Iterasi Perhitungan <i>Initial Dilution</i> Horizontal Arus Maksimum	59
Tabel 5.10 Iterasi Perhitungan <i>Initial Dilution</i> Horizontal Arus Rata-Rata	60
Tabel 5.11 Iterasi Perhitungan <i>Initial Dilution</i> Horizontal Arus Minimum	60
Tabel 5.12 Iterasi Perhitungan <i>Secondary Dilution</i> dan <i>Bacterial Decay</i> Arus Maksimum	64
Tabel 5.13 Iterasi Perhitungan <i>Secondary Dilution</i> dan <i>Bacterial Decay</i> Arus Rata-Rata	64
Tabel 5.14 Iterasi Perhitungan <i>Secondary Dilution</i> dan <i>Bacterial Decay</i> Arus Minimum	65

Tabel 5.15 Iterasi Perhitungan <i>Secondary Dilution</i> dan <i>Bacterial Decay</i> Arus Maksimum (Lee & Cheung,1991)	65
Tabel 5.16 Iterasi Perhitungan <i>Secondary Dilution</i> dan <i>Bacterial Decay</i> Arus Rata-Rata (Lee and Cheung, 1991)	65
Tabel 5.17 Iterasi Perhitungan <i>Secondary Dilution</i> dan <i>Bacterial Decay</i> Arus Minimum (Lee and Cheung, 1991)	65
Tabel 5.18 Iterasi Perhitungan <i>Secondary Dilution</i> dan <i>Bacterial Decay</i> Horizontal Arus Maksimum	66
Tabel 5.19 Iterasi Perhitungan <i>Secondary Dilution</i> dan <i>Bacterial Decay</i> Horizontal Arus Rata-Rata	66
Tabel 5.20 Iterasi Perhitungan <i>Secondary Dilution</i> dan <i>Bacterial Decay</i> Horizontal Arus Minimum	66
Tabel 5.21 Hasil Perhitungan Analisa Stabilitas Vertikal Pipa <i>Outfall</i> Syarat 1	68
Tabel 5.22 Hasil Perhitungan Analisa Stabilitas Vertikal Pipa <i>Outfall</i> Syarat 2	68
Tabel 5.23 Hasil Perhitungan Analisa Stabilitas Laterl Pipa <i>Outfall</i>	69

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 Skema <i>Waste Water Treatment</i> (Bishop, 1983)	6
Gambar 2.2 Grafik Hubungan Antara <i>Suspended Solid Removal</i> Dengan <i>Flow Rate</i> (McGhee,1991)	8
Gambar 2.3 Grafik Hubungan Antara <i>BOD Removal</i> Dengan <i>Flow Rate</i> (McGhee,1991)	8
Gambar 2.4 Sistem <i>Ocean Outfall Singleport Discharge</i>	11
Gambar 2.5 Grafik Penentuan Moody Friction Factor	17
Gambar 2.6 Potongan melintang Pipa Bawah Laut (Mousselli, 1978)	26
Gambar 2.7 Konfigurasi <i>Ocean Outfall</i> (Bishop, 1983)	28
Gambar 2.8 Grafik " <i>Region of Validity of Wave Theories</i> " (Chakrabarti, 1987)	31
Gambar 3.1 Metodologi Penelitian	38
Gambar 4.1 Denah Perumahan Pantai Timur Surabaya	41
Gambar 4.2 Lokasi Pola Arus Yang Ditinjau (Armono, 2005)	46
Gambar 4.3 Pola Arus Pada Saat Pasang (Armono, 2005)	46
Gambar 4.4 Pola Arus Pada Saat Surut (Armono, 2005)	46
Gambar 5.1 Grafik Hubungan Antara <i>Suspended Solid Removal</i> dengan <i>Flow Rate</i>	50
Gambar 5.2 Grafik Hubungan Antara <i>BOD Removal</i> dengan <i>Flow Rate</i>	50
Gambar 5.3 Skenario Rute Pipa <i>Outfall</i>	61
Gambar 5.4 Skenario Pipa <i>Outfall</i> Rute B	62
Gambar 5.5 Konfigurasi <i>Ocean Outfall</i> Untuk Perumahan Pantai Timur Surabaya	73
Gambar 5.6 <i>Anode</i> Pada <i>Submarine Pipeline</i> (Dimet, 2006)	75





BAB 1

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pencemaran laut merupakan salah satu hal yang meresahkan karena konsentrasinya yang semakin meningkat dari tahun ke tahun, khususnya berasal dari kota-kota besar yang berada di pinggir pantai. Salah satu bentuk pencemaran tersebut yaitu berupa limbah konservatif seperti limbah rumah tangga maupun perindustrian yang dibuang ke sungai kemudian dialirkan ke laut. Semakin meningkat jumlah penduduk maka konsentrasi pembuangan limbah akan semakin meningkat juga.

Dari situ timbul kebutuhan akan teknologi pembuangan limbah dari darat ke laut yang cukup memadai. Kebutuhan ini telah lama dirasakan. Penduduk di masa lampau telah membangun sistem pembuangan untuk air badai dan menggunakannya untuk membawa pembuangan akhir dari darat. Namun hal ini berakhir sampai pada awal abad ke-19 dimana sistem pembuangan limbah untuk pertama kalinya dibangun dan penduduk yang berada di daerah pantai membuang limbahnya ke air laut dengan teknologi *outfall* (Bishop, 1983).

Outfall sendiri merupakan sistem yang berguna untuk mencegah setiap efek yang berbahaya dari pembuangan limbah tersebut serta menyediakan perpindahan yang efektif dan efisien pada proses degradasi maupun transformasi limbah. *Outfall* dapat dibedakan menjadi beberapa jenis tergantung dari klasifikasinya. Tetapi secara garis besar ada tiga tipe yaitu *Single Port*, *Multiple Port* dan *Surface Discharge*. Ketiga tipe ini menghasilkan aliran seperti jet yang besarnya tergantung pada gaya buoyancy dan arus yang terjadi (Hino, 1994).

Pada penelitian yang terdahulu telah dilakukan perancangan desain *outfall* untuk Teluk Jakarta pada tahun 1995 sebagai tugas akhir. Dalam penelitian tersebut dilakukan perancangan *outfall* untuk tipe *Multiple Port*. Penelitian tersebut hanya menentukan apakah desain yang telah dibuat efektif dan ekonomis atau tidak, karena

itu di dalamnya terdapat juga analisa biaya. Selain itu data-data yang digunakan masih kurang lengkap (Hendratmoko, 1995).

Dari situ timbul keinginan untuk melakukan perancangan *outfall* yang lebih aplikatif dengan mempergunakan data yang lebih lengkap. Sehingga dipilih perancangan *outfall* untuk limbah buangan dari perumahan pantai timur Surabaya. Karena sistem pembuangan limbah di kawasan tersebut yang terdahulu secara teknis masih kurang dan belum memenuhi syarat.

Perancangan tersebut harus berupa penentuan parameter pipa dan penentuan *initial dilution*. Mengingat banyaknya faktor yang mempengaruhi pencampuran limbah dengan air laut. Di antaranya yaitu perbedaan densitas serta adanya arus baik arus pasang surut maupun arus lainnya. Hal ini menentukan pentingnya penelitian terhadap pencampuran dan distribusi limbah pada air laut (Steel, 1960).

Setelah menentukan perancangan teknis dan *initial dilution* pembuangan, maka selanjutnya dilakukan analisa. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah desain yang telah dibuat tersebut memenuhi persyaratan atau tidak. Sehingga dengan demikian maka akan didapatkan desain yang memenuhi persyaratan serta dapat diaplikasikan pada lokasi yang telah ditentukan.

1.2 Perumusan Masalah

Dengan melihat permasalahan yang timbul, maka dilakukan identifikasi masalah sehingga dapat ditentukan proses penyelesaiannya. Adapun permasalahan yang akan di bahas adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana menentukan tipe dan parameter pipa *outfall* yang tepat untuk perumahan pantai timur Surabaya yang meliputi penentuan lokasi, jenis pipa, diameter pipa, panjang pipa, tebal pipa, kedalaman pipa, hidrolika pipa, *initial dilution* limbah dengan air laut, *secondary dilution*, *bacterial decay*, besarnya kadar BOD, besarnya kadar *coliform* dan jumlah *anode*?

- b. Bagaimana melakukan analisa stabilitas serta pola arus pada hasil perancangan yang didapatkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan ini yaitu:

- a. Untuk menentukan tipe dan parameter pipa *outfall* yang sesuai pada perumahan pantai timur Surabaya yang meliputi penentuan lokasi, jenis pipa, diameter pipa, panjang pipa, tebal pipa, kedalaman pipa, hidrolika pipa, *initial dilution* limbah dengan air laut, *secondary dilution*, *bacterial decay*, besarnya kadar BOD, besarnya kadar *coliform* dan jumlah *anode*.
- b. Untuk melakukan analisa stabilitas dan pola arus pada hasil perancangan yang didapatkan.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan diharapkan nantinya akan didapatkan perancangan *outfall* yang tepat, memenuhi standar baku mutu serta efektif untuk mengalirkan limbah pembuangan dari perumahan pantai timur Surabaya ke laut.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun batasan dan asumsi untuk penelitian yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

- a. Pembuangan limbah hanya berasal dari perumahan pantai timur Surabaya.
- b. Pada penentuan *waste water treatment* hanya dilakukan secara umum.
- c. Pada penentuan *initial dilution* digunakan rumus yang disesuaikan dengan tipe *outfall* yang dipakai serta berdasarkan data lingkungan yang didapatkan.
- d. Pada analisa hidrolika pipa berfokus pada hubungannya dengan kemungkinan terjadinya intrusi air laut.
- e. Pada stabilitas pipa berlaku teori Morison.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistem penulisan yang digunakan yaitu sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Dalam bab ini dijelaskan mengenai latar belakang masalah, permasalahan yang dibahas, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta ruang lingkup atau batasan-batasan masalah yang digunakan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Berisi tentang landasan teori yang digunakan dalam perancangan maupun analisa pada pipa *outfall*. Meliputi antara lain pengolahan limbah pembuangan, teknologi dan perancangan *ocean outfall* sampai dengan analisa hasil perancangan.

Bab III Metodologi Penelitian

Menjelaskan tentang langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian, mulai dari studi literatur tentang *ocean outfall*, pengumpulan data, perancangan, analisa, sampai dengan pengambilan kesimpulan serta *design drawing* dari hasil perancangan.

Bab IV Gambaran Lokasi Studi

Dalam bab ini dijelaskan secara lebih rinci mengenai lokasi studi yang meliputi data-data perumahan Pantai Timur Surabaya, *existing treatment*, dasar-dasar pemilihan lokasi serta keadaan hidro-oseanografi Pantai Timur Surabaya.

Bab V Perancangan *Ocean Outfall*

Menjelaskan langkah-langkah dan perhitungan dalam perancangan *ocean outfall* maupun analisa yang dilakukan secara lengkap. Selain itu juga terdapat pembahasan dari hasil yang telah didapatkan.

Bab VI Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan yang didapatkan dari perancangan serta analisa yang telah dilakukan. Selain itu juga berisi saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Laut telah lama digunakan sebagai tempat pembuangan limbah rumah tangga maupun industri (Hino, 1994). Kebutuhan ini telah lama dirasakan oleh masyarakat kota khususnya kota-kota yang memiliki pantai. Di masa yang lalu, mereka telah membangun sistem pembuangan untuk air badai dan menggunakannya untuk membawa pembuangan akhir dari darat. Ini telah lama digunakan dan kemudian berakhir sampai pada awal abad ke-19 dimana sistem pembuangan limbah untuk pertama kalinya dibangun. Sejak itu pula masyarakat kota mulai membuang limbah ke tempat yang memadai, salah satunya yaitu laut.

Adapun hal tersebut di atas berlandaskan pada timbulnya pemikiran bahwa lautan yang sangat luas dapat meminimalkan dampak negatif yang terjadi. Namun konsekuensinya banyak komunitas yang membuang limbahnya ke air laut tanpa mengolahnya terlebih dahulu. Mereka berpikir bahwa pengenceran yang dilakukan oleh laut sendiri cukup memadai. Padahal pencampuran pada air laut masih jauh dari sempurna. Sejak saat itu mulai dikenal teknologi *outfall* yang mampu menghasilkan titik pembuangan yang lebih baik (Bishop, 1983).

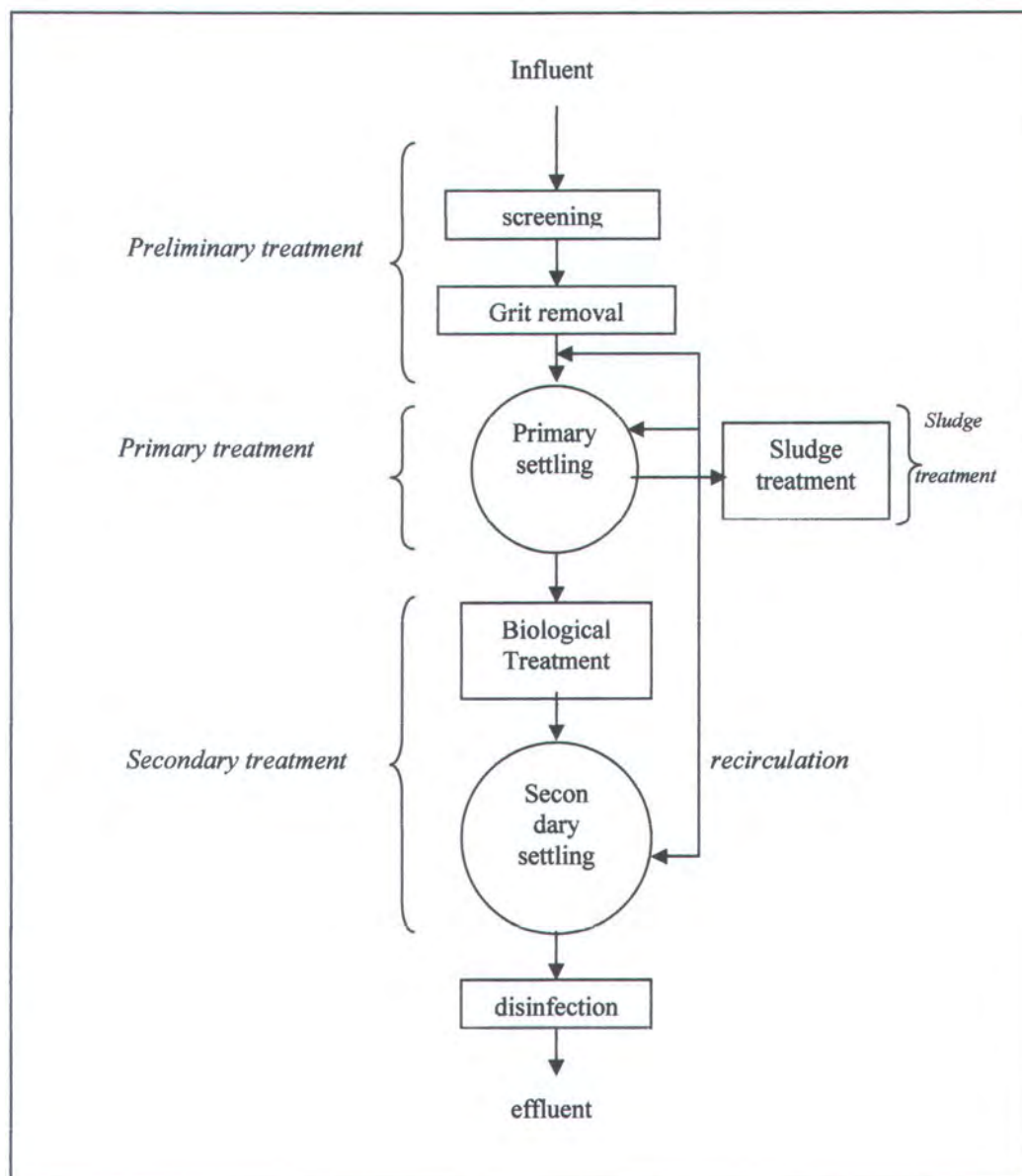
2.1 Karakteristik Limbah dan Pengolahannya

2.1.1 Karakteristik Limbah Rumah Tangga

Salah satu sumber utama air limbah rumah tangga dari masyarakat berasal dari perumahan. Karakteristik dari limbah tersebut terdiri dari sifat fisik, kimiawi dan biologis. Adapun sifat fisik yang penting adalah kandungan zat padat sebagai efek estetika dan kejernihan serta bau dan warna dan juga temperatur (Sugiharto, 1987). Secara kimiawi kelompok utama substansi organik pada limbah yaitu karbohidrat, protein, lemak, urea, deterjen, fenol, pH, klorida, sulfur, logam berat, nitrogen dan fosfor. Sedangkan secara biologis limbah rumah tangga mengandung bakteri, jamur, protozoa maupun virus. Limbah tersebut cenderung mengandung organisme patogen sehingga dapat menyebabkan penyakit seperti tipes dan sebagainya (Bishop, 1983).

2.1.2 Pengolahan Limbah Pembuangan

Pengolahan limbah pembuangan harus dilakukan berdasarkan standar yang berlaku atau sesuai perundang-undangan yang berlaku. Tujuan utamanya untuk mengurangi BOD, partikel tercampur, serta membunuh organisme pathogen sehingga konsentrasinya menjadi rendah. Untuk itu diperlukan pengolahan secara bertahap. Pengolahan limbah pembuangan tersebut secara umum terbagi menjadi tiga bagian (Bishop, 1983). Untuk lebih jelasnya, skema pengolahan limbah dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Skema *Waste Water Treatment* (Bishop, 1983)

2.1.2.1 Preliminary Treatment

Yaitu terdiri dari memindahkan suspensi limbah padat yang berbahaya yang dapat merusak pipa pembuangan. Ini disebut pula dengan *screening*. Pengurangan debit pada proses ini sebesar $1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^3$ seperti yang telah dirumuskan di bawah ini (McGhee, 1991).

$$Q = Q_0 - (1,5 \cdot 10^{-5} Q_0) \dots\dots\dots 1$$

Kemudian selanjutnya dilakukan pemindahan suspensi dengan *spesific gravity* yang lebih besar dari komponen organik pada limbah pembuangan. Ini disebut juga dengan *grit removal*. Pengurangan debit yang terjadi pada proses ini sebesar $6 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^3$ (McGhee, 1991).

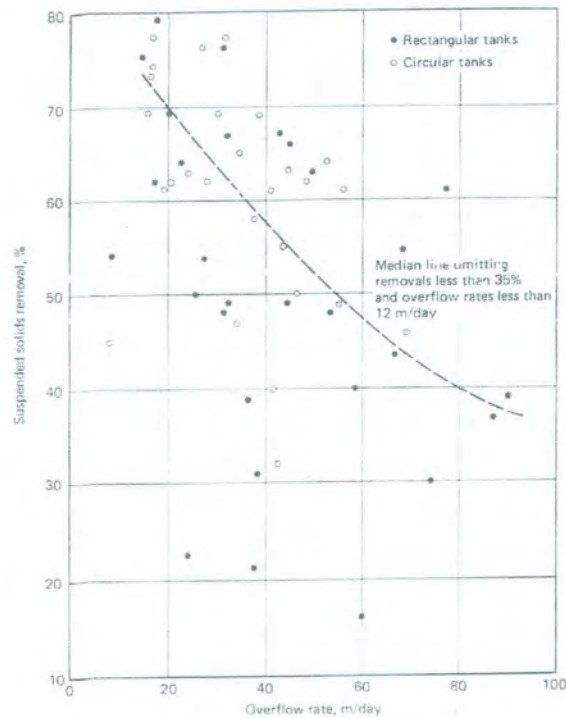
$$Q = Q_0 - (6 \cdot 10^{-5} Q_0) \dots\dots\dots 2$$

2.1.2.2 Primary Treatment

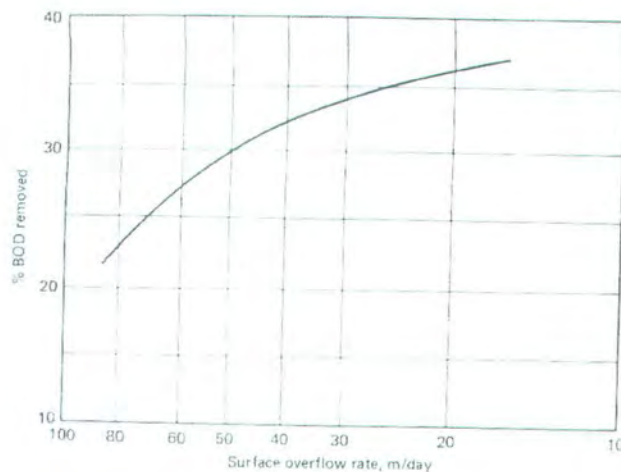
Pada proses ini limbah mengalir melalui tangki yang besar di bawah kondisi yang relatif diam. Ukuran dan *spesific gravity* suspensi padat akan mengapung maupun tenggelam dalam berbagai kecepatan. Suspensi padat yang tidak berpindah pada proses ini harus diproses dengan pengolahan berikutnya. Pada proses ini menghasilkan perpindahan sebesar 30% sampai dengan 60%, persentase tersebut tergantung pada debit rata-rata harian yang keluar.

$$Q = Q_0 - (\% \text{ perpindahan} Q_0) \dots\dots\dots 3$$

Adapun melalui grafik *Suspended Solid Removal* maupun *BOD removal* pada gambar 2.2 dan 2.3 dapat ditentukan persentase besarnya perpindahan suspensi padat maupun perpindahan BOD yang tergantung pada besarnya kecepatan aliran limbah.



Gambar 2.2 Grafik Hubungan Antara *Suspended Solid Removal* Dengan *Flow Rate* (McGhee,1991)



Gambar 2.3 Grafik Hubungan Antara *BOD Removal* Dengan *Flow Rate* (McGhee,1991)

2.1.2.3 Secondary Treatment

Terdiri dari proses biologis yang membuat organik pada limbah dikonsumsi oleh mikroorganisme. Dimana limbah buangan disebarkan dan dialirkan turun kemudian

dilakukan simulasi proses pemurnian limbah. Dari sini limbah masih mengandung jumlah bakteri patogen yang cukup banyak. Karena itu digunakan agen kimia seperti klorine sehingga limbah sudah memadai untuk dibuang ke laut. Secara lebih lengkap proses tersebut terdiri dari (Bishop, 1983):

a. *Activated-Sludge process*

Fungsinya untuk mengubah materi organik yang tidak dapat dipisahkan menjadi sel bakteri. Pada selang waktu tertentu terjadi proses bakteri berkembang biak dan memakan materi organik sampai pertumbuhan bakteri tersebut berhenti. Selanjutnya pada tangki pendingin pertumbuhan bakteri tersebut dikontrol sebesar 1500 sampai 3000 mg/L.

b. *Attached biological growth process*

Pada proses ini mikroorganisme ditempatkan pada satu tempat dengan medium padat. Adapun reaktor yang digunakan terdiri dari:

- *Trickling filters*
- *Rotating biological Contractors*

Biasanya dalam tahapan ini *initial BOD* yang digunakan sebesar 0,3 – 0,5 kg/m³.

c. *Stabilization ponds*

Merupakan proses perlakuan yang mensimulasikan proses pemurnian limbah alami. Proses ini membutuhkan daerah yang lebih besar dan biasanya hanya cocok untuk komunitas yang kecil.

d. *Disinfection*

Pada proses ini menggunakan agen kimia seperti klorin dan ozon untuk menghilangkan sisa-sisa bakteri yang masih berbahaya untuk lingkungan.

Pada *secondary treatment* ini akan mempengaruhi besarnya *initial dilution*. Dalam arti jika proses ini dilakukan dengan lengkap maka besarnya konsentrasi limbah akan makin menurun. Sebaliknya jika proses tersebut belum dilakukan secara lengkap, maka konsentrasi limbah akan makin rendah. Nantinya ini juga akan berpengaruh pada parameter perancangan pipa terutama kedalaman dan panjang pipa yang dibutuhkan. Makin tinggi konsentrasinya maka lokasi akan bertambah

dalam dan membutuhkan pipa yang makin panjang. Makin rendah konsentrasi maka lokasi akan semakin dangkal dan membutuhkan pipa yang cukup pendek.

2.2 TEKNOLOGI OCEAN OUTFALL

Dari proses pengolahan limbah maka limbah buangan dapat dibuang ke laut. Adapun teknologi yang digunakan dalam hal ini yaitu teknologi dengan menggunakan pipa *outfall*.

2.2.1 Definisi *Outfall*

Outfall merupakan sarana pembuangan limbah dari darat ke laut yang mengurangi dampak pencemaran. Secara lebih lengkap *outfall* merupakan sistem yang berguna untuk mencegah setiap efek yang berbahaya dari pembuangan limbah tersebut serta menyediakan perpindahan yang efektif dan efisien pada proses degradasi maupun transformasi limbah (Singh, 1996).

Outfall dapat dibedakan menjadi beberapa jenis tergantung dari klasifikasinya. Tetapi secara garis besar ada tiga tipe, yaitu sebagai berikut:

a) *Single Port*,

Merupakan bentuk yang paling sederhana. Memiliki sebuah ujung pelepasan pipa sebagai lubang pembuangan di laut. Dapat berupa *round port* atau *radial port*.

b) *Multiple Port*

Merupakan bentuk *diffuser* dengan struktur linear dan dengan jumlah ujung pelepasan pipa yang cukup banyak terhubung dengan pipa utama yang terletak di dasar laut. Biasanya digunakan untuk aliran limbah yang lebih besar, sehingga pencampuran yang terjadi nantinya dapat lebih efektif.

c) *Surface Discharge*.

Merupakan bentuk yang paling ekonomis yang menyalurkan limbah pembuangan melalui saluran pipa terbuka buatan pada garis pantai. Hanya saja kemampuan pencampurannya terbatas.

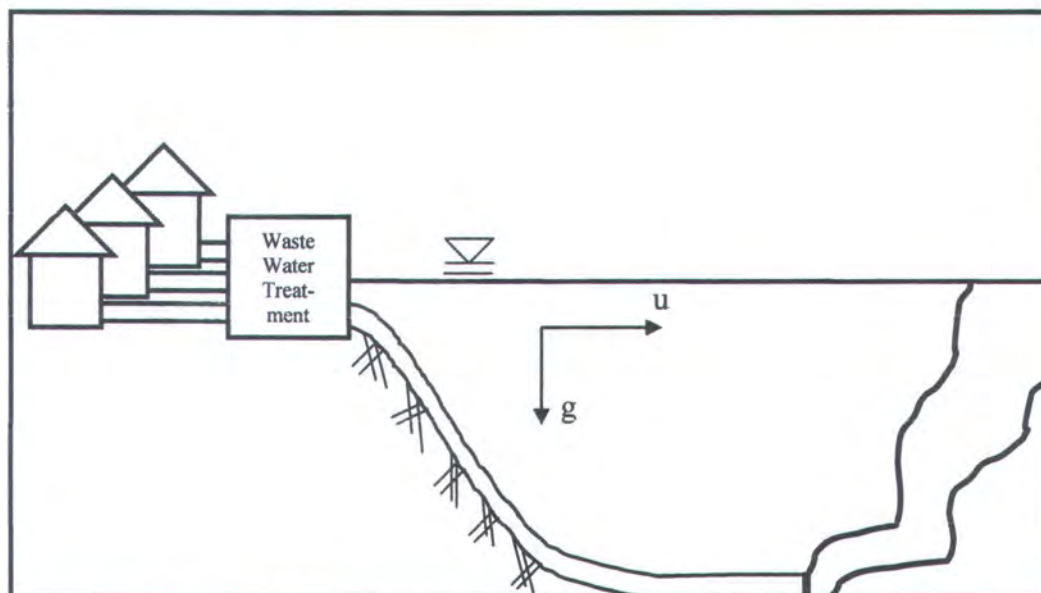
Ketiga tipe ini menghasilkan aliran seperti jet yang besarnya tergantung pada gaya *buoyancy* dan arus yang terjadi (Hino, 1994). Adapun dari ketiganya yang paling baik yaitu *Singleport* karena pemasangannya yang lebih mudah, biaya yang lebih ekonomis serta perawatan yang lebih mudah dibandingkan tipe yang lainnya. Karena itu disarankan untuk memilih jenis tersebut.

2.2.2 Perancangan *Outfall*

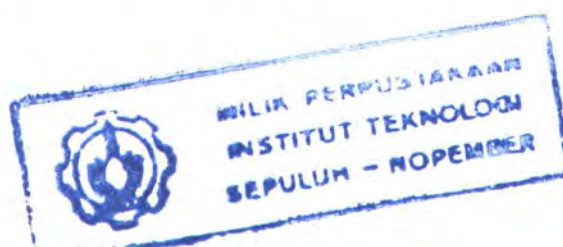
Perancangan *outfall* berfokus pada pencampuran dan stabilitas perpipaan. Sedangkan secara teknis desain *outfall* berdasarkan perancangan hidrolika berfokus pada 3 bagian besar, yaitu (Singh, 1996):

- Mekanik pencampuran jet, berhubungan dengan informasi kuantitatif pada pencampuran *near field*, yaitu daerah dimana pencampuran dipengaruhi momentum maupun geometri limbah.
- Mekanik aliran stratifikasi, berhubungan dengan intrusi air laut, densitas air laut, dan sebagainya.
- Transpor polusi pada lingkungan alam, berhubungan dengan interaksi aliran karena transport momentum dan proses transport massa.

Sistem *outfall* sendiri secara sederhana digambarkan pada gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Sistem *Ocean Outfall Singleport Discharge*



Sedangkan langkah-langkah untuk mendesain *outfall* yaitu sebagai berikut:

2.2.2.1 Penentuan Debit

Untuk dapat menentukan initial dilution yang pertama dilakukan penentuan debit.

Untuk penentuan debit diperoleh dari data aliran pembuangan limbah tertinggi dari penduduk perumahan pantai timur Surabaya, yang dirumuskan secara umum:

$$Q = AV \dots\dots\dots 4$$

Dengan Q = debit (m^3/s)

A = luasan penampang pipa (m^2)

V = kecepatan aliran limbah dari rumah tangga (m/s)

Dalam kaitannya dengan jumlah penduduk, untuk menentukan debit diperlukan estimasi populasi. Nantinya akan dilakukan analisa melalui 2 metode yaitu sebagai berikut:

❖ Metode Logistik (McGhee, 1991)

Merupakan metode yang digunakan sebagai kombinasi pertumbuhan dari suatu populasi yang rendah dengan rata-rata pengurangan pertumbuhannya yang sesuai dengan rumus di bawah ini.

$$P_{sat} = \frac{2P_0P_1P_2 - P_1^2(P_0 + P_2)}{P_0P_2 - P_1^2} \dots\dots\dots 5$$

Dengan P_0 = jumlah penduduk mula-mula

P_1 = jumlah penduduk pada tahun

P_2 = jumlah penduduk pada tahun kedua

Dari situ maka jumlah penduduk pada tahun tertentu berikutnya dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$P = \frac{P_{sat}}{1 + e^{a+b \cdot \Delta t}} \dots\dots\dots 6$$

Dengan Δt adalah waktu yang dicari. Sedangkan a dan b adalah konstan, sesuai dengan persamaan berikut ini.

$$a = \ln \frac{P_{sat} - P_2}{P_2} \dots\dots\dots 7$$

$$b = \frac{1}{n} \ln \frac{P_0(P_{sat} - P_1)}{P_1(P_{sat} - P_0)} \dots\dots\dots 8$$

Dengan n merupakan interval waktu antara jumlah penduduk mula-mula dengan tahun selanjutnya. Karena jumlah penduduk yang diketahui adalah pada tahun pertama dan kedua, maka n adalah 1 tahun.

❖ Metode Curve Linear (McGhee, 1991)

Metode ini menghitung jumlah penduduk dengan anggapan bahwa pertumbuhan penduduk adalah konstan sehingga dapat digambarkan secara linear dalam suatu kurva. Sehingga jumlah penduduk yang dicari pada tahun tertentu merupakan pertambahan penduduk sampai dengan tahun tersebut dengan jumlah penduduk mula-mula.

$$P = (\% \text{ pertumbuhan} \cdot P_0 \cdot n) + P_0 \dots\dots\dots 9$$

Dengan n adalah waktu yang dicari dan P_0 adalah jumlah penduduk mula-mula.

Setelah dilakukan perhitungan jumlah penduduk maka dengan demikian akan didapatkan besarnya debit pembuangan total sesuai dengan persamaan di bawah.

$$Q_{AV} = Q \cdot P \dots\dots\dots 10$$

Dengan Q_{AV} = debit total yang keluar per hari (m^3/s)

Q = debit yang keluar per hari per orang (m^3/s)

Adapun besarnya debit yang keluar per hari per orang didasarkan pada tabel 2.1 dengan asumsi bahwa debit yang nantinya akan digunakan merupakan debit rata-rata. Sedangkan kategori tempat tinggal yang dipilih sesuai dengan perumahan yang ada di pantai timur Surabaya, yaitu rumah yang lebih baik karena perumahan di kawasan pantai timur Surabaya tersebut tergolong perumahan untuk masyarakat ekonomi menengah ke atas (Sugiharto, 1987).

Tabel 2.1

Rata-rata Aliran Air Limbah dari Daerah Pemukiman

No.	Sumber	Unit	Jumlah Aliran l/unit/har	
			Antara	Rata-rata
1.	Apartemen	Orang	200-300	260
2.	Hotel, penghuni tetap	Orang	150-220	190
3.	Tempat tinggal keluarga:			
	Rumah pada umumnya	Orang	190-350	280
	Rumah yang lebih baik	Orang	250-400	310
	Rumah mewah	Orang	300-550	380
	Rumah agak modern	Orang	100-250	200
	Rumah pondok	Orang	100-240	190
4.	Rumah gandengan	Orang	120-200	150

Sumber: Sugiharto, 1987

2.2.2.2 Menganalisa Stabilitas *Plume* dan Hidrolika Pipa

Ini merupakan analisa stabilitas *discharge* atau limbah buangan. Yang dimaksudkan yaitu analisa stabilitas aliran dari pembuangan pada hubungannya dengan kemungkinan adanya intrusi oleh air laut. Hal ini akan berpengaruh pada penentuan *initial dilution* yaitu pada parameter kedalaman dan diameter pipa. Dimana perbandingan kedalaman dengan diameter pipa harus lebih besar dari 0,22 kali *Froude Number*-nya (Hino,1994). Perumusan untuk perhitungan tersebut ada pada persamaan (11).

$$\frac{z}{D} > 0,22F_0 \dots\dots\dots 11$$

dengan z = kedalaman di atas pipa pembuangan (m)

D = diameter pipa (m)

F_0 = Froude Number

dimana:

$$F_0 = \frac{U^3}{b} \dots\dots\dots 12$$

dengan U adalah kecepatan arus (m/s). Sedangkan besarnya b dirumuskan seperti persamaan (13) berikut (Grace, 1978).

$$b = g' Q \dots\dots\dots 13$$

dimana g' = densimetrik percepatan gravitasi

Q = debit (m³/s)

Sedangkan nilai g' didapat dari persamaan (14).

$$g' = \left(\frac{\Delta\rho_0}{\rho_a} \right) g \dots\dots\dots 14$$

dengan $\Delta\rho_0/\rho_a$ = perbedaan densitas air laut

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Sedangkan untuk hidrolika pipa berlaku persamaan persamaan Hazen-Williams yang dirumuskan pada persamaan (15) berikut (McGhee, 1991).

$$V = kCR^{0,63}S^{0,54} \dots\dots\dots 15$$

Dengan mensubstitusikan persamaan $Q = V \times A$ maka persamaan di atas dapat diganti dengan persamaan (16) di bawah ini.

$$Q = 0,2785CD^{2,63}S^{0,54} \dots\dots\dots 16$$

Dengan K = faktor berdasarkan unit (0,849 untuk m/s dan 1,318
 untuk ft/s)
 C = koefisien kekasaran (berdasarkan material)
 D = diameter (m)
 Q = *flow rate* (m³/s)
 R = radius hidrolik (m)
 S = sudut kemiringan garis dari energi = HL/L dengan HL =
 Head Losses (m) dan L adalah rute pipa (m)

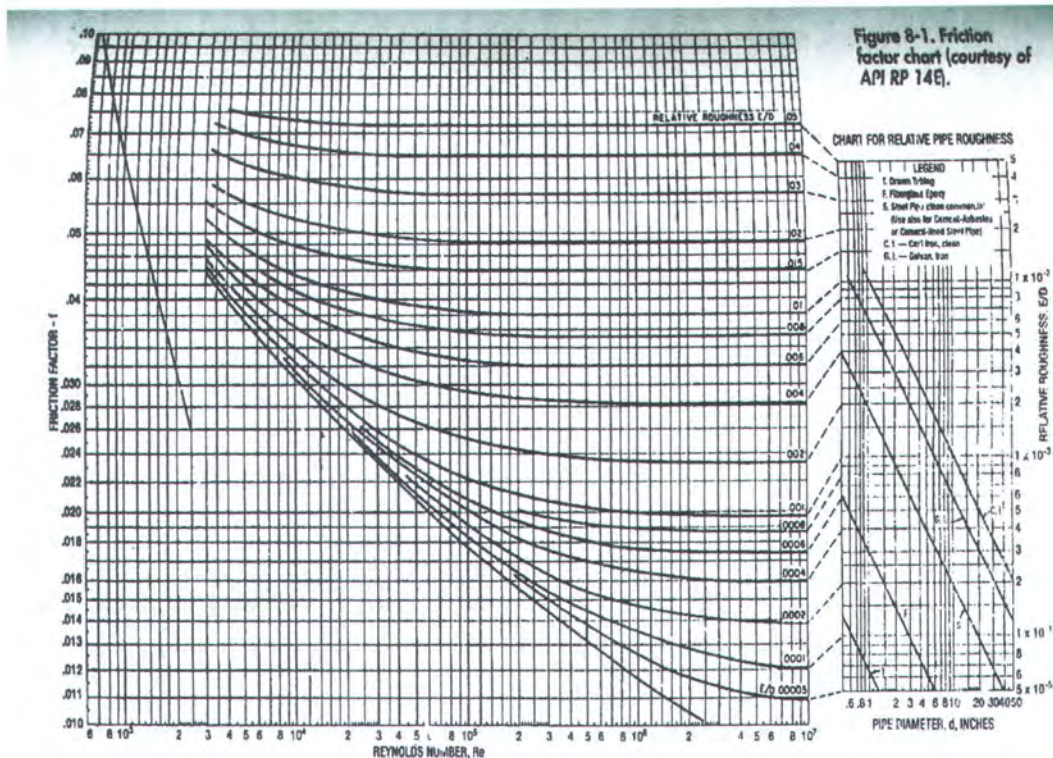
2.2.2.3 Penentuan dan Perhitungan Pompa

Dari penentuan hidrolika maka selanjutnya kita perlu menentukan pompa. Adapun yang diperlukan dalam menentukan dan menghitung suatu pompa diantaranya yaitu menentukan *pressure drop* beserta *horsepower*. Penentuan tersebut secara lebih jelas terdapat pada persamaan-persamaan berikut ini (Arnold, 1998).

$$\Delta P = (11,5 \cdot 10^{-6}) \frac{fLQ^2SG}{D^5} \dots\dots\dots 17$$

Dengan ΔP = pressure drop (psi)
 f = Moody Friction Factor
 L = panjang pipa (ft)
 Q = debit (bpd)
 SG = Spesific Gravity
 D = diameter (in)

Adapun f didapatkan dari grafik pada gambar 2.5 berikut dengan parameter ϵ / D dan besarnya *Reynolds Number*. Besarnya ϵ untuk concrete 0,001 – 0,01 ft atau 0,012 – 0,12 in.



Gambar 2.5 Grafik Penentuan Moody Friction Factor

Selanjutnya menentukan besarnya *hydraulic horsepower* melalui persamaan berikut.

$$HHP = \frac{Q\Delta P}{58766} \dots\dots\dots 18$$

Dengan asumsi pompa yang digunakan mempunyai efisiensi sebesar 90% maka $E = 0,9$. Sehingga besarnya brake horsepower seperti pada persamaan berikut.

$$BHP = \frac{HHP}{E} \dots\dots\dots 19$$

Dimana HHP dan BHP dengan satuan ft-lb/s.

2.2.2.4 Menentukan Besarnya *Dilution*

Pengenceran yang terjadi pada saat limbah mulai bercampur dengan air laut disebut dengan *Initial dilution*. Sangat perlu mengingat banyaknya faktor yang mempengaruhi pencampuran limbah dengan air laut. Di antaranya yaitu perbedaan densitas, adanya arus baik arus pasang surut maupun arus lainnya, dan sebagainya (Steel, 1960). Adapun secara umum *initial dilution* dirumuskan sebagai berikut yaitu pada persamaan (20). Sedangkan secara khusus *initial dilution* dirumuskan sesuai tipe *outfall*-nya.

$$S_m = \frac{C_o}{C_{\max}} \dots\dots\dots 20$$

Dengan S_m = *initial dilution* rata-rata
 C_o = konsentrasi awal (mol/m³)
 C_{\max} = konsentrasi maksimal (mol/m³)

a. *Singleport Discharge*

Hino, 1994 mendeterminasikan penentuan *initial dilution* menurut beberapa kategori. Untuk laut dalam, stagnan, homogen, ambient penentuan besarnya *initial dilution* pada arah vertikal dirumuskan sesuai persamaan (21) sedangkan untuk arah horisontal sesuai dengan persamaan (22).

$$S_c = 0,11 \left(\frac{z}{D} \right)^{5/3} F_0^{-2/3} = \frac{(0,11 J^{1/3} z^{5/3})}{Q} \dots\dots\dots 21$$

$$S_c = 0,54 F_0 \left(0,38 \frac{z}{D F_0} + 0,66 \right)^{5/3} \text{ untuk } \frac{z}{D} \geq 0,5 F_0 \dots\dots\dots 22$$

Dimana S_c = *initial dilution centerline*
 D = diameter (m)
 J = buoyancy fluks (m⁴/s³)
 Q = volume fluks (m³)

F_0 = Froude number

Selanjutnya penentuan besarnya *initial dilution* untuk laut dangkal dinyatakan pada persamaan (23).

$$S_m = 0,9 \left(\frac{H}{D} \right)^{5/3} F_0^{-2/3} \dots\dots\dots 23$$

Untuk laut dalam dengan stratifikasi dan memiliki arus ambient digunakan persamaan (24).

$$S_c = 0,071 \frac{J^{1/3} z_{\max}^{5/3}}{Q} \dots\dots\dots 24$$

Untuk laut dengan arus ambient terbagi menjadi daerah dengan aliran jet vertical maupun horizontal. Untuk aliran jet vertical dinyatakan pada persamaan (25) untuk BDNF dan persamaan (26) untuk BDFF (Wright, 1977). Sedangkan untuk aliran jet horizontal dinyatakan pada persamaan (27) untuk BDNF dan persamaan (28) untuk BDFF (Lee and Neville-Jones, 1978). Adapun BDNF merupakan *Buoyancy Dominated Near Field*, sedangkan BDFF merupakan *Buoyancy Dominated Far Field*.

$$S_c = 0,27 \frac{J^{1/3} z^{5/3}}{Q} \text{ untuk } \frac{zU^3}{J} < 1 \dots\dots\dots 25$$

$$S_c = 0,40 \frac{u z^2}{Q} \text{ untuk } \frac{HU^3}{J} > 1 \dots\dots\dots 26$$

$$S_c = 0,31 \frac{J^{1/3} H^{5/3}}{Q} \text{ untuk } \frac{HU^3}{J} < 5 \dots\dots\dots 27$$

$$S_c = 0,32 \frac{UH^2}{Q} \text{ untuk } \frac{HU^3}{J} > 5 \dots\dots\dots 28$$

Yang dimaksud dengan dominasi *near field* yaitu pencampuran lebih dipengaruhi oleh momentum maupun geometrinya. Sedangkan yang dimaksud dengan dominasi *far field* yaitu dimana pencampuran awal dipengaruhi oleh lingkungan seperti arus, angin maupun gelombang.

Sedangkan menurut Mukhtasor, dkk (2002) menyatakan persamaan kontinuitas buoyant jet berdasarkan hipotesa penambahan *shear entrainment* dan *force entrainment* sesuai persamaan (29) berikut ini.

$$S_c Q = Q + E_s + E_f \dots \dots \dots 29$$

Dimana $E_s = \text{shear entrainment}$
 $E_f = \text{force entrainment}$

Dengan mengasumsikan arus *ambient* tidak berpengaruh pada *shear entrainment* dan factor *force entrainment* dapat diturunkan dari sifat asimtotiknya pada daerah *far field*, maka persamaan di atas dapat diubah menjadi persamaan (30).

$$\frac{S_c Q}{uz^2} = a \left(\frac{z}{l_b} \right)^{-1/3} + \frac{b}{1 + c(z/l_b)^{-d}} \dots \dots \dots 30$$

Dimana $l_b = \frac{B}{u^3}$, l_b adalah jarak vertical karena pengaruh *buoyancy* pada kecepatan.

Dengan $a = 0,1$ dan $b = 0,51$ kemudian 2 konstanta konstan yang lainnya ditentukan melalui *trial and error* dengan awal $c = 0,10$ dan $d = 2$. Namun koefisien model tersebut masih tidak linear, sehingga perlu dilakukan regresi linear. Dengan prosedur *Gauss-newton* melalui *software* SPSS, dan sebagainya didapatkan nilai estimasi e , f , w dan h berturut-turut sebesar 0,13; -0,31; 0,46 dan -0,22. Dengan mensubstitusikan nilai ini, maka didapatkan persamaan (31) berikut.

$$\frac{S_c Q}{u z^2} = 0,13 \left(\frac{z}{l_b} \right)^{-0,31} + 0,46 \exp \left(\frac{-0,22}{z / l_b} \right) \dots\dots\dots 31$$

Kemudian menurut Lee and Cheung, 1991 penentuan *initial dilution* dibagi menurut daerah dengan dominasi BDNF yaitu dengan persamaan (32).

$$\frac{S_c Q}{U l_b^2} = C_1 \left(\frac{z}{l_b} \right)^{5/3} \dots\dots\dots 32$$

dengan C_1 adalah konstanta sebesar 0,1. Sedangkan untuk daerah dengan dominasi BDFF dinyatakan melalui persamaan (33).

$$\frac{S_c Q}{U l_b^2} = C_2 \left(\frac{z}{l_b} \right)^2 \dots\dots\dots 33$$

dengan C_2 adalah konstanta sebesar 0,5.

b. *Multiport Discharge*

Hino, 1994 mendeterminasikan penentuan *initial dilution* menurut kategori pertama yaitu pada laut dalam, stagnan, homogen, ambient menggunakan persamaan (34).

$$S_c = 0,31 \frac{J^{1/3} z_{\max}}{q} \dots\dots\dots 34$$

Dimana penentuan besarnya q dan J masing-masing didapat dari persamaan (35) dan (36) berikut.

$$q = \frac{Q}{L_D} \dots\dots\dots 35$$

$$j = g' q \dots\dots\dots 36$$

Selanjutnya untuk laut dalam, stagnan, stratifikasi, ambient dengan $F = \frac{U^3}{J}$ dimana F adalah rasio kecepatan arus ambient, maka penentuan besarnya pencampuran yang terjadi terbagi atas $F < 0,1$ dimana berlaku persamaan (37) dan $0,1 < F < 100$ dimana berlaku persamaan (38).

$$S_m = 0,27 \frac{J^{1/3} H}{q} \dots\dots\dots 37$$

$$S_m = 0,4 \frac{J^{1/3} z_{\max} F^{1/6}}{q} (2,19 F^{1/6} - 0,52) \dots\dots\dots 38$$

Untuk laut dangkal, searah dengan arus dan momentum pencampuran awal menggunakan persamaan di bawah ini.

$$S_m = 1/2 \left[V + \left(V^2 + \frac{2mH}{q^2} \right)^{1/2} \right] \dots\dots\dots 39$$

Dimana besarnya V dapat ditentukan dari persamaan (40).

$$V = \frac{UH}{q} \dots\dots\dots 40$$

Untuk laut dangkal, membentuk sudut dengan momentum apabila aliran jet yang terjadi membentuk sudut dengan momentumnya atau tidak searah maka dapat digunakan persamaan (41).

$$S_m = \frac{V}{2} \left[\left(\frac{V}{2} \right)^2 + 0,2 \frac{mH}{q^2} \right]^{1/2} \dots\dots\dots 41$$

Terakhir untuk laut dangkal, stratifikasi berlaku persamaan (42).

$$S_m = \frac{cJ^{1/3}H}{q} \dots\dots\dots 42$$

c. Surface Discharge

Hino, 1994 mendeterminasikan penentuan *initial dilution* menurut kategori arus stagnan yang dirumuskan pada persamaan-persamaan (43) dan (44).

$$S_m = F'_0 \dots\dots\dots 43$$

$$S_m = 1,4F'_0 \dots\dots\dots 44$$

Adapun besarnya F'_0 dapat dinyatakan melalui persamaan (45) dan parameter l_0 dihitung dengan persamaan (46) dengan b_0 merupakan lebar dari *discharge*..

$$F'_0 = \frac{U}{\sqrt{g'l_0}} \dots\dots\dots 45$$

$$l_0 = \sqrt{h_0 b_0} \dots\dots\dots 46$$

Kemudian selanjutnya melakukan penentuan besarnya *secondary dilution* yang terjadi (Brooks, 1960) melalui persamaan berikut.

$$S_f = \frac{1}{\operatorname{erf} \left[\frac{1,5}{\sqrt{\left(1 + 8 \frac{kx}{ub^2}\right)^3 - 1}} \right]} \dots\dots\dots 47$$

$$k = \alpha b^{4/3} \dots\dots\dots 48$$

$$\operatorname{erf}(\eta) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\eta e^{-v^2} dv \dots\dots\dots 49$$

Dimana $S_f = \text{far-field dilution}$
 $k = \text{diffusivity (m}^2/\text{s)}$
 $x = \text{jarak ke tambak terdekat (m)}$
 $b = \text{panjang diffuser} = 1/3 \text{ kedalaman (m)}$

Untuk penentuan besarnya *initial dilution* akan berhenti jika sudah memenuhi syarat yang berlaku yaitu sesuai dengan standar baku mutu yang ditetapkan oleh Menteri Lingkungan Hidup untuk peraturan tahun 2004 berikut ini (Standar Baku Mutu Air Laut Untuk Wisata Bahari Tahun 2004).

- ❖ DO (*Dissolved Oxygen*) Kandungan Oksigen terlarut. Nilai baku mutu DO harus sama atau lebih besar dari 5 mg/l.
- ❖ BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh bakteri pengurai untuk menguraikan bahan pencemar organik dalam air. Nilai baku mutu BOD harus sama atau kurang dari 10 mg/l.
- ❖ *E. Coliform* 200 MPN/100 ml
- ❖ dan kandungan *Coliform* 1000 MPN/100 ml.

Untuk perancangan dalam tugas akhir ini parameter yang dievaluasi adalah kandungan BOD yang ditentukan melalui persamaan (50) dengan $S_m = 1,5 S_c$ (Bishop, 1983):

$$\text{Kadar BOD} = \frac{\text{initial BOD}}{S_m} \dots\dots\dots 50$$

Selain menentukan kadar BOD, salah satu parameter yang dievaluasi adalah besarnya konsentrasi *coliform*. Adapun Standar Baku Mutu Kementrian Lingkungan Hidup 2004 menyebutkan bahwa kandungan maksimal *coliform* sebesar 1000 MPN/100ml. Konsentrasi coliform dapat dihitung melalui persamaan berikut.

$$\text{coliform} = \frac{\text{initial coliform}}{S_c \times S_b} \dots\dots\dots 51$$

Dimana S_c merupakan *initial dilution* dan S_b merupakan *dilution* karena *bacterial decay* yang ditentukan melalui persamaan (52).

$$S_b = S_c \cdot e^{-k_b t} \dots\dots\dots 52$$

Dengan $t = x/u$ dan k_b merupakan konstanta yang mengekspresikan jumlah waktu yang dibutuhkan untuk penurunan bakteri karena mortalitas sebesar 90% dan dinyatakan dengan persamaan (53) berikut.

$$k_b = \frac{\ln 10}{T_{90}} \dots\dots\dots 53$$

Untuk perhitungan nantinya digunakan besarnya k_b yaitu 13,8 (Hino, 1994).

2.2.2.5 Menentukan Lokasi dan Rute Pipa *Outfall*

Setelah *initial dilution* perlu ditentukan lokasi dan rute yang tepat, diawali dengan penentuan skenario rute terlebih dahulu. Adapun dalam penentuan lokasi maupun rute yang akan dilalui oleh pipa *outfall* harus mengacu pada hal-hal berikut (Grace, 1978):

- ❖ Usahakan dapat diletakkan di dasar topografi laut
- ❖ Tidak mengganggu zona pelayaran
- ❖ Tidak mengganggu aktifitas penangkapan ikan
- ❖ Merupakan garis lurus agar mudah untuk dikonstruksi dan difabrikasi
- ❖ Tidak mengganggu atau bersilangan dengan instalasi pipa bawah laut yang lainnya
- ❖ Tidak pada daerah dengan arus dan ombak yang besar

2.2.2.6 Menentukan Kedalaman *Port*

Untuk menentukan kedalaman port yang perlu diperhatikan yaitu harus ditempatkan pada kedalaman yang cukup untuk mengefektifkan pencampuran (Bishop, 1983). Dimana kedalaman efektif dalam hal ini dimaksudkan bahwa konsentrasi limbah yang bercampur dengan air laut cukup aman atau sesuai dengan

parameter standar baku mutu terutama apabila telah mencapai permukaan air laut. Atau dengan kata lain tidak berbahaya bagi lingkungan di sekitarnya.

2.2.2.7 Menentukan Jenis Pipa dan Joint-Jointnya

Adapun material yang biasa digunakan untuk pipa *outfall* antara lain yaitu (Grace, 1978):

❖ Pipa baja

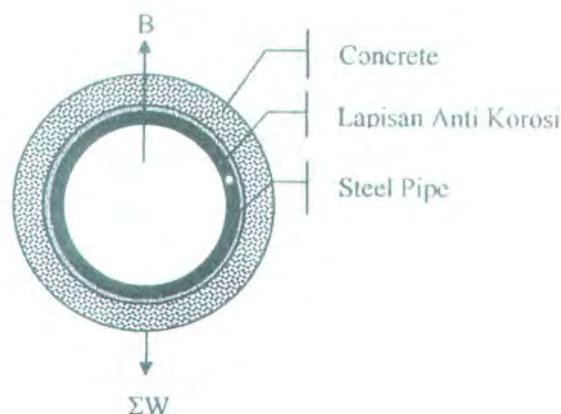
Banyak digunakan pada industri minyak dan gas lepas pantai maupun pipa *outfall*. Masalah utama dari material ini yaitu sifatnya yang korosif sehingga perlu dilakukan perlindungan berupa coating. Joint pada pipa jenis ini berupa las-lasan.

❖ Pipa beton

Paling sering digunakan untuk pipa *outfall*. Ini karena material tersebut dapat dibuat dengan ukuran yang besar, cukup tahan terhadap air laut maupun organisme laut dan dapat dikekang oleh baja silinder sebagai penguatnya. Sambungan pipa harus didesain untuk tidak mengalami kegagalan, biasanya dilakukan dengan pengelasan sambungan (Steel, 1960).

❖ Pipa plastik

Terdiri dari 3 jenis yaitu *polyvinyl chloride* (PVC), *polyethylene* dan *fiberglass-reinforced pipe* (FRP). Paling tangguh dalam menghadapi korosi serta memiliki berat yang paling ringan. Namun paling sedikit diaplikasikan pada pipa *outfall*. Joint pada pipa jenis ini dengan menggunakan flens.



Gambar 2.6 Potongan Melintang Pipa Bawah Laut (Mousselli, 1978)

Untuk menentukan jenis dari pipa *outfall* yang akan digunakan harus melihat pada kondisi lingkungan yang ada. Lebih tepatnya yaitu tergantung pada jenis tanah dan situasi di dasar laut atau topografi dasar laut yang akan ditempati oleh pipa *outfall* secara spesifik (Grace, 1978). Namun pada umumnya susunan material pipa yang digunakan seperti pada gambar 2.6 di atas.

2.2.2.8 Menentukan Parameter Pipa (diameter, panjang, berat dan tebal pipa)

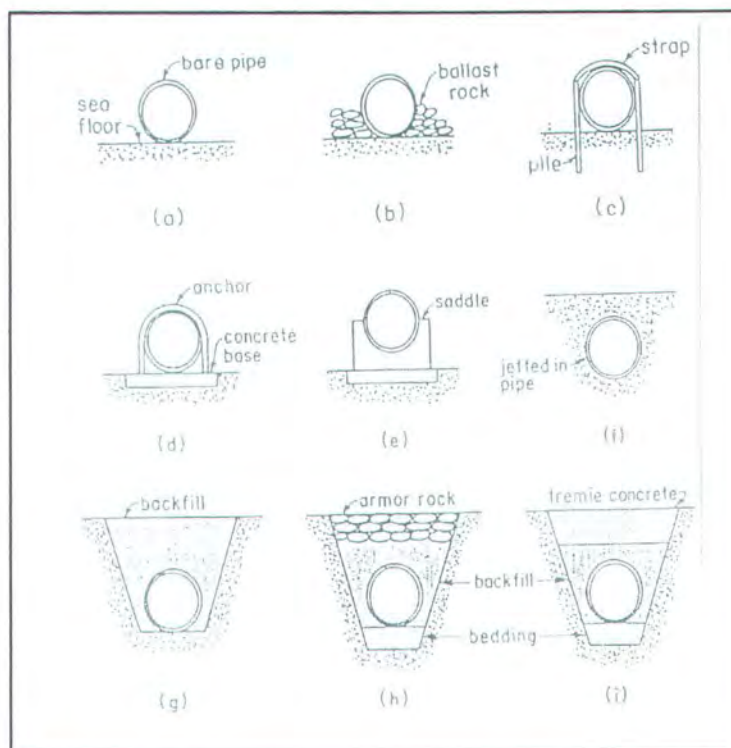
Parameter pipa dapat ditentukan melalui persamaan Hazen-Williams yang dirumuskan pada persamaan (15) dan (16) sebelumnya, karena penentuan parameter pipa berhubungan dengan kondisi hidroliknya. Adapun dari persamaan tersebut akan didapatkan diameter pipa yang tepat. Kemudian melalui tabel yang disesuaikan dengan jenis material yang dipergunakan, maka panjang, berat dan ketebalan pipa dapat diketahui juga. Umumnya material yang digunakan yaitu *concrete pipe* dengan dimensi-dimensinya yang tertera pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Weights and Dimensions of Standard Reinforced Concrete Subaqueous Pipe
(Grace, 1978)

Nominal Inside Diameter		Wall Thickness		Approximate Weight	
(in.)	(mm)	(in.)	(mm)	(lb/ft)	(N/m)
24	610	4	102	341	4,980
30	762	4	102	416	6,070
34	864	4	102	535	7,810
36	914	4	102	563	8,220
39	991	4	102	604	8,810
42	1,067	4½	114	731	10,670
46	1,168	4½	114	794	11,590
48	1,219	5	127	920	13,430
54	1,372	5½	140	1,130	16,490
60	1,524	6	152	1,360	19,850
66	1,676	6½	165	1,615	23,570
72	1,829	7	178	1,885	27,510
78	1,981	7½	191	2,180	31,810
84	2,134	8	203	2,500	36,480
90	2,286	8	203	2,660	38,820
96	2,438	8½	216	3,010	43,930
102	2,591	8½	216	3,185	46,480
108	2,743	9	229	3,565	52,030
120	3,048	10	254	4,385	63,990
132	3,353	11	279	5,300	77,350
144	3,658	12	305	6,300	91,940
156	3,962	13	330	7,380	107,700

2.2.2.9 Menentukan Sistem Perlindungan Pipa

Pipa *outfall* yang ditempatkan di dasar laut dapat dipendam melalui sistem *ballast*, *anchor* atau dengan berbagai variasi. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada gambar 2.7. Kemudian lapisan pipa harus diberi perlindungan supaya dapat mengurangi dampak dari korosi dan timbulnya *marine growth*. Sistem perlindungan yang dapat dilakukan antara lain dapat melalui proteksi katodik berupa *galvanic anode system* dapat pula melalui *coating* (Grace, 1978).



Gambar 2.7 Konfigurasi *Ocean Outfall* (Bishop, 1983)

Untuk proteksi katodik dilakukan dengan pemasangan anode. Adapun penentuan jumlah anode berdasarkan DnV RP B401 melalui langkah-langkah berikut.

- a. Menentukan arus yang dibutuhkan

Yaitu dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$I_c = A_c f_b i_c \dots\dots\dots 54$$



Dimana I_c = arus total untuk permukaan yang dipertimbangkan (mA)
 A_c = area yang dilindungi (m^2)
 f_b = faktor *coating breakdown*
 i_c = densitas desain arus (mA/m^2)

b. Menentukan berat total *anode*

Berfungsi untuk mempertahankan tingkat perlindungan melalui *service life* dan berdasarkan pada arus rata-rata.

$$M_t \geq \frac{8760 I_{cm} t_d}{u_f \epsilon_e} \dots\dots\dots 55$$

Dimana M_t = total berat *anode* (kg)
 I_{cm} = arus rata-rata (A)
 t_d = *design life* (tahun)
 ϵ_e = kapasitas arus *anode* (Ajam/kg)
 u_f = *utilization factor*

Nilai-nilai pada tabel 2.3 berikut dapat digunakan untuk perhitungan proteksi katodik menurut bentuk *anode*.

Tabel 2.3 *Utilization Factor* (Thohiroh, 2005)

Tippe Anode	Utilization Factor
<i>Long slender stand-off made by continous casting</i>	0,95
<i>Long slender stand-off made by traditional mould casting</i>	0,90
<i>Long flush mounted anode</i>	0,85
<i>Short flush mounted anode</i>	0,80
<i>Half-shell bracelet anode</i>	0,85
<i>Magnesium anode in soil</i>	0,80

c. Menentukan tahanan *anode*

Diperlukan untuk menentukan jumlah *anode* yang dibutuhkan untuk mempertahankan tingkat proteksi katodik pada akhir *service life*. Formulasi tahanan yang sesuai dengan jenis *anode* yang digunakan dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$R_a = \frac{0,315 \rho_l}{\sqrt{A_e}} \dots\dots\dots 56$$

Dimana R_a = tahanan anode (Ω)
 ρ_l = resistivitas lingkungan (Ωm)
 A_e = luas permukaan *anode* yang dibutuhkan

d. Menentukan *anode current output*

Hasil arus *anode* pada masing-masing bagian ditentukan melalui persamaan berikut.

$$n_a c_a \geq 8760 I_{cm} t_d \dots\dots\dots 57$$

$$n_a I_a (initial final) \geq I_c (initial final) \dots\dots\dots 58$$

$$\text{dengan } c_a = m_a \varepsilon_e u_f \dots\dots\dots 59$$

$$I_a = \left(\frac{E_c^0 - E_a^0}{R_a} \right) \dots\dots\dots 60$$

Dimana I_a = hasil arus *anode* (mA)
 E_c = tingkat proteksi minimum (VwrtAg/AgCl)
 E_a = arus potensial aliran *anode* (VwrtAg/AgCl pada air laut)
 R_a = tahanan *anode* yang sesuai (ohm)

Untuk jumlah anode yang dibutuhkan ditentukan melalui persamaan berikut:

$$n_a = \frac{I_{cfr}}{I_{af}} \dots\dots\dots 61$$

Dimana I_{cfr} = arus total yang dibutuhkan pipa (mA)

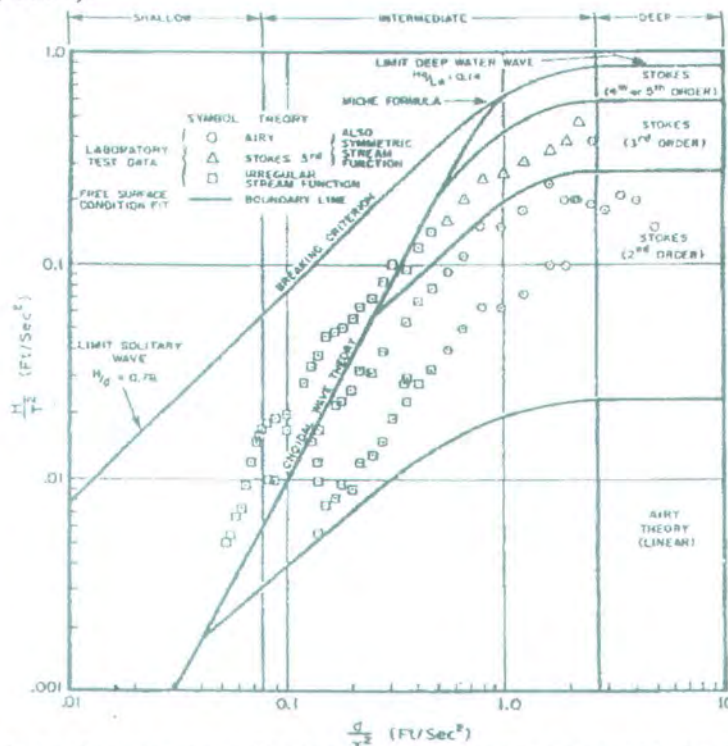
I_{af} = hasil arus *anode* individu (A)

2.3 Analisa Hasil Perancangan

Selain menentukan perancangan teknis dan *dilution* pembuangan, maka juga perlu dilakukan analisa. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah desain yang telah dibuat memenuhi persyaratan atau tidak. Sehingga akan didapatkan desain yang terbaik serta dapat diaplikasikan pada lokasi yang telah ditentukan. Adapun analisa yang dilakukan meliputi analisa stabilitas lateral maupun analisa stabilitas vertikal.

2.3.1 Penentuan Teori Gelombang

Sebelum analisa stabilitas terlebih dahulu menentukan teori gelombang yang sesuai. berdasarkan grafik "*Region of Validity of Wave Theories*" pada gambar 2.8 berikut (Chakrabarti, 1987).



Gambar 2.8 Grafik "*Region of Validity of Wave Theories*" (Chakrabarti, 1987).

Salah satu teori gelombang yaitu teori gelombang Stokes, yang mana digunakan untuk perairan yang membutuhkan tingkat akurasi yang lebih tinggi dari teori gelombang linier. Adapun untuk teori gelombang Stokes Orde 2 adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 1999).

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right) \dots\dots\dots 62$$

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right) \dots\dots\dots 63$$

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta \dots\dots\dots 64$$

Selanjutnya menentukan kecepatan partikel air melalui persamaan berikut.

$$\frac{u}{u_o} = \left(\frac{y}{y_o} \right)^{1/7} \dots\dots\dots 65$$

$$u_e^2 = 0,778 u_o^2 \left(\frac{D}{y_o} \right) 0,286 \dots\dots\dots 66$$

Kemudian menentukan Reynold Number untuk mendapatkan koefisien-koefisien yang diperlukan. Koefisien-koefisien tersebut secara lengkap ditentukan pada tabel 2.4 di bawah ini.

$$Re = \frac{u_e D}{\nu} \dots\dots\dots 67$$

Tabel 2.4 Rekomendasi Koefisien Hidrodinamis Desain Pipa (Mousselli, 1981)

Re	C _D	C _L	C _M
$Re < 5.10^4$	1,3	1,5	2,0
$5.10^4 < Re < 10^5$	1,2	1,0	2,0
$10^5 < Re < 2,5.10^5$	$1,53 - \frac{Re}{3.10^5}$	$1,2 - \frac{Re}{5.10^5}$	2,0
$2,5.10^5 < Re < 5.10^5$	0,7	0,7	$2,5 - \frac{Re}{5.10^5}$
$5.10^5 < Re$	0,7	0,7	1,5

2.3.2 Analisa Stabilitas Lateral

Menurut DnV, syarat stabilitas lateral yang diminta yaitu gaya gesek yang terjadi akibat interaksi antara pipa dengan tanah harus lebih besar dari kombinasi gaya drag dan gaya inersia. Minimal besarnya selisih adalah 10%. Adapun persamaannya lebih jelas pada persamaan (68) di bawah ini (Ikhwani, 2003).

$$F = F_D + F_I \dots\dots\dots 68$$

F_D = Gaya drag (lbs)

F_I = Gaya inersia (lbs)

Dimana:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D D U_e^2 \dots\dots\dots 69$$

$$F_I = \rho C_M \left(\frac{\pi D}{4} \right) \frac{dv}{dt} \dots\dots\dots 70$$

dengan ρ = massa jenis air laut (lb/ft³)

C_D = koefisien drag

U_e = kecepatan partikel air (ft/s)

C_M = koefisien massa

Kemudian:

$$F_L = \frac{1}{2} \rho C_L D U_e^2 \dots\dots\dots 71$$

$$F_r = \mu N \dots\dots\dots 72$$

dengan F_L = gaya lift (lb) F_r = *friction resistance* (lb)

C_L = lift coefficient N = gaya normal (lb)

Pada arah horizontal $\Sigma F_x = 0$, sehingga:

$$F_D + F_I - F_r + w \sin \theta = 0 \dots\dots\dots 73$$

Sedangkan pada arah vertikal $\Sigma F_y = 0$, sehingga:

$$N + F_L - w \cos \theta = 0 \dots\dots\dots 74$$

Jika persamaan di atas digabungkan maka akan didapatkan:

$$F_D + F_I - \mu (F_L + w \cos \theta) = w \sin \theta \dots\dots\dots 75$$

Dari persamaan di atas dapat ditentukan berat minimum total dari pipa karena pengaruh lingkungan sebagai berikut:

$$w = \frac{F_D + F_I + \mu F_L}{\mu \cos \theta + \sin \theta} \dots\dots\dots 76$$

Untuk *seafloor* dengan $\theta = 0$ maka persamaan di atas menjadi:

$$w = F_L + \frac{1}{\mu} (F_D + F_I) \dots\dots\dots 77$$

Dimana w adalah berat pipa yang seharusnya dalam satuan lb/ft digunakan dan μ tergantung jenis tanah. Kemudian bila syarat stabilitas lateral dari DnV diaplikasikan maka didapatkan persamaan (78).

$$(W - F_L)\mu = (F_D + F_I)S \dots\dots\dots 78$$

Dimana S yaitu angka keamanan sebesar $\geq 1,1$.

2.3.3 Analisa Stabilitas Vertikal

Saat pipa dalam kondisi badai, pipa akan terangkat. Berbagai eksperimen telah dilakukan untuk menghitung *soil floatation* dan gaya-gaya tahanan. Persamaan berikut digunakan untuk menentukan *design range*:

$$R \cong 2 \frac{C}{D} \dots\dots\dots 79$$

dengan

R = tahanan tanah terhadap floatation (lb/ft³)

C = kohesif shear strength tanah (lb/ft²)

D = diameter luar pipa (ft)

Apabila persamaan tersebut dibagi dengan ρ , akan didapat persamaan baru dengan batas bawah dan batas atas dari SG pipa.

$$SG_1 < SG < SG_2 \dots\dots\dots 80$$

Dimana SG merupakan spesifik gravity yang diijinkan, SG₁ batas bawah dari SG dan SG₂ batas atas dari SG. Sedangkan menurut DnV, untuk stabilitas vertikal harus memenuhi persamaan:

$$SG_{float} \leq SG_{pipa} \dots\dots\dots 81$$

SG_{float} yang dimaksud sama dengan SG air laut, sedangkan SG_{pipa} adalah SG pipa total pada kondisi instalasi (isinya kosong). Dinyatakan dengan persamaan (82) di bawah ini.

$$SG_{\text{pipa}} = \frac{\rho_{\text{pipa}}}{\rho_{\text{airmurni}}} \dots\dots\dots 82$$

Syarat ini dimaksudkan agar pipa pada saat operasi tidak melayang. Persyaratan lainnya yang harus dipenuhi yaitu:

$$SG_{\text{pipa}} \leq SG_{\text{sink}} \dots\dots\dots 83$$

Dimana $SG_{\text{sink}} = SG_{\text{soil}} + \frac{2C}{\rho_{\text{air}} OD} \dots\dots\dots 84$

$$SG_{\text{soil}} = \frac{\gamma_d (1 + e)}{\gamma_w} \dots\dots\dots 85$$

Dengan γ_d = berat volume kering
 γ_w = berat volume air
 e = angka pori



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

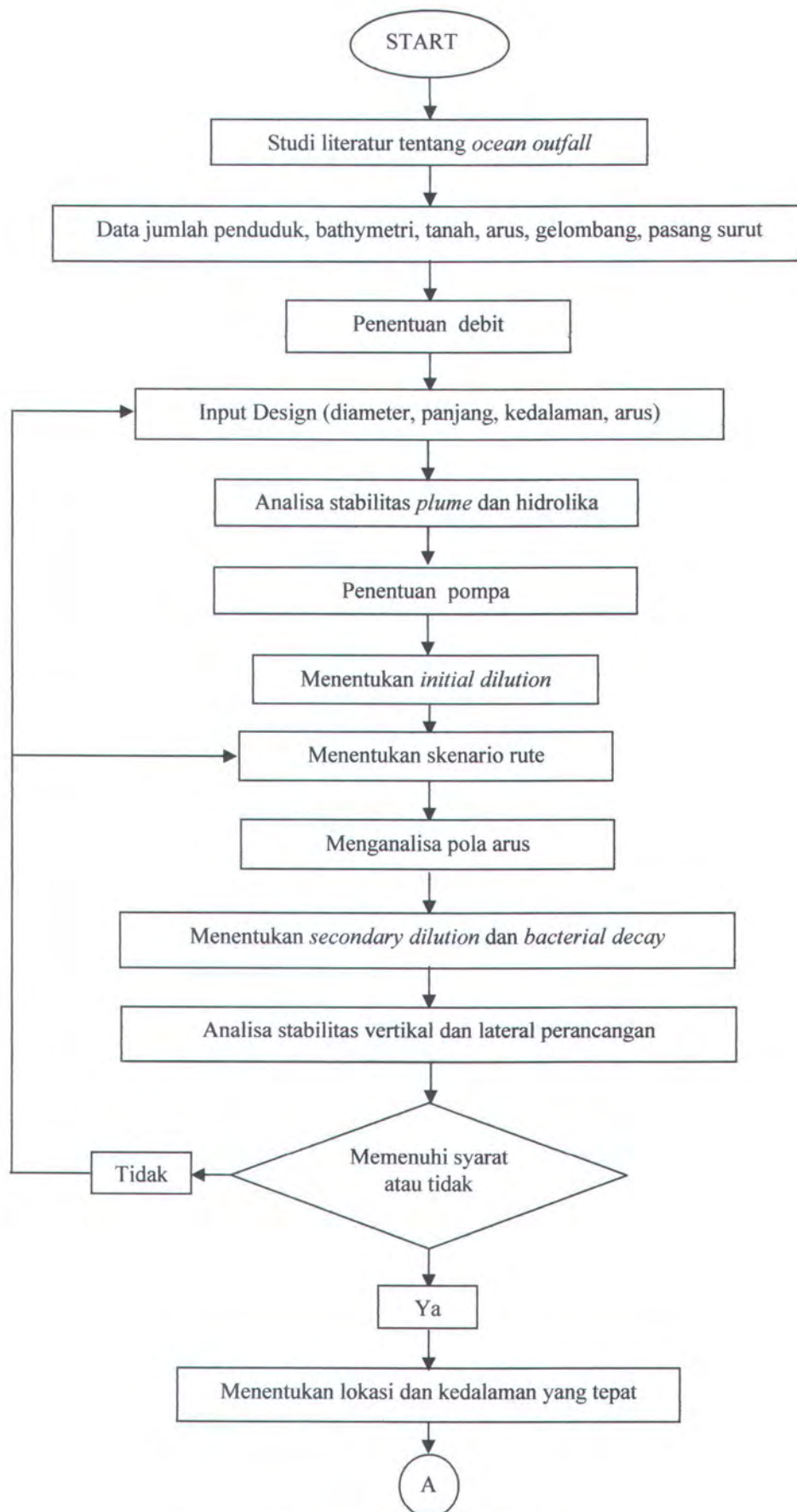
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

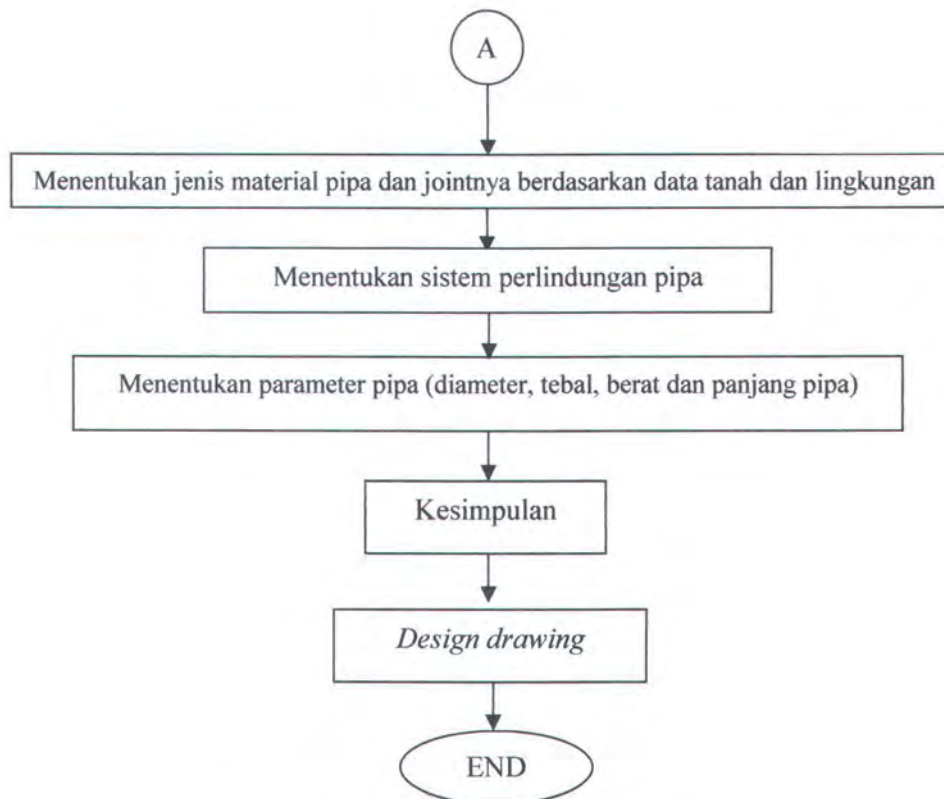
Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis mengikuti langkah-langkah sesuai dengan flowchart pada gambar 3.1. Langkah awal adalah studi literatur tentang *ocean outfall* untuk mencari teori-teori yang dapat digunakan pada perancangan dan analisa nanti. Langkah kedua mengambil data saluran limbah pembuangan di perumahan pantai timur Surabaya serta data lingkungan di kawasan pantai timur Surabaya. Langkah ketiga menentukan jumlah debitnya. Langkah keempat menentukan input data desain. Langkah kelima menentukan analisa stabilitas dari *plume* beserta hidroliknya. Selanjutnya langkah keenam menentukan pompa. Langkah ketujuh melakukan perhitungan *initial dilution* yang tepat dan memenuhi syarat.

Setelah itu langkah yang kedelapan menentukan skenario rute. Langkah kesembilan menganalisa pola arus di lokasi studi. Langkah kesepuluh menghitung *secondary dilution* dan *bacterial decay*. Langkah kesebelas melakukan analisa stabilitas baik vertikal maupun lateral dari hasil perancangan yang didapatkan. Jika sesuai maka dapat menuju ke langkah selanjutnya. Jika tidak maka dari hasil analisa akan dapat diketahui harus kembali pada langkah keempat, keenam atau ketujuh.

Langkah duabelas menentukan lokasi dan kedalaman yang tepat untuk perancangan teknis sesuai data-data yang didapatkan. Langkah ketigabelas yaitu menentukan parameter pipa yang berupa panjang pipa, diameter pipa, berat pipa dan ketebalan pipa. Kemudian langkah keempatbelas menentukan jenis material pipa yang akan digunakan serta jenis *joint* atau sambungannya berdasarkan data tanah yang didapat. Langkah kelimabelas menentukan sistem perlindungan pipa yang tepat yang akan digunakan untuk menahan pipa supaya tetap stabil terhadap gaya arus maupun gelombang serta mengurangi dampak akibat korosi. Langkah selanjutnya yaitu membuat kesimpulan tentang hasil studi secara keseluruhan. Langkah terakhir membuat gambar *design* dari *final design*. Secara lebih rinci langkah-langkah tersebut digambarkan berurutan pada gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Metodologi penelitian



Gambar 3.1 Metodologi penelitian

Secara lebih rinci, pada penentuan debit terbagi dua, pertama penentuan debit *influent* yang merupakan fungsi dari jumlah penduduk terbesar dengan metode perhitungan *curve linear* dan logistik. Kedua penentuan debit effluent setelah pengolahan dengan berbagai tahapan yang meliputi *screening*, *grit removal*, *primary treatment*, *secondary treatment* dan *disinfection*. Selanjutnya ditentukan syarat stabilitas plumenya dan hidrolika agar tidak terjadi intrusi air laut. Hal ini bersamaan dengan penentuan *initial dilution* sampai dapat ditentukan kedalaman yang tepat dan memenuhi syarat untuk stabilitas *plumenya* ataupun sesuai standar baku mutu yang berlaku. Kemudian juga dilakukan perhitungan besarnya daya pompa. Dengan demikian akan didapatkan skenario rute pipa.

Setelah itu dari skenario yang didapatkan dilakukan analisa. Pertama dilakukan analisa pola arus dari masing-masing skenario, apakah memenuhi persyaratan atau tidak. Yang dimaksud yaitu berhubungan dengan *discharge* nantinya akan menuju ke arah mana. Selanjutnya dilakukan perhitungan *secondary dilution* dan besarnya *bacterial*

decay. Kemudian dilakukan analisa stabilitas. Sebelumnya terlebih dahulu dihitung berat pipa, setelah itu baru dapat dilakukan analisa apakah pipa yang telah direncanakan tersebut stabil atau tidak. Analisa tersebut merupakan analisa stabilitas. Analisa stabilitas sendiri terdiri dari analisa stabilitas vertikal dan analisa stabilitas lateral. Analisa stabilitas vertikal berkaitan dengan *spesifik gravity* pipa. Sedangkan analisa stabilitas lateral berkaitan dengan kestabilan pipa di bawah laut jika terkena beban hidrodinamis.

Adapun selanjutnya dilakukan penentuan jenis material pipa yang akan digunakan berdasarkan topografi atau batimetri dari lokasi yang telah ditentukan. Kemudian menentukan parameter-parameter pipa yang dikehendaki meliputi diameter dan panjang pipa. Kemudian dari situ dapat ditentukan tebal dari pipa yang dikehendaki. Demikian halnya untuk penentuan sistem perlindungan pipa yang akan digunakan. Dipilih proteksi yang paling tepat berdasarkan topografi dasar lautnya dan aktivitas yang ada di sekitar daerah tersebut. Langkah terakhir yaitu mengambil kesimpulan dan membuat *design drawingnya*.



BAB 4
GAMBARAN WILAYAH STUDI

BAB 4

4.1 Perumahan Pantai Timur Surabaya

Perumahan pantai timur Surabaya terletak di kawasan Surabaya Timur yang dikelilingi oleh kawasan Pantai Kenjeran Surabaya. Perumahan tersebut ada beberapa jumlahnya dan tersebar di berbagai kawasan, di antaranya yaitu perumahan Bumi Marina Emas dan perumahan Laguna Indah. Secara lebih jelas letak perumahan tersebut digambarkan pada gambar 4.1 di bawah ini. Sedangkan data perumahan Bumi Marina Emas dan Laguna Indah secara berturut-turut terdapat pada tabel 4.1 dan 4.2. Adapun data-data lingkungan yang didapat dari lokasi perumahan Bumi Marina Emas maupun perumahan Laguna Indah kurang lebih tidak jauh berbeda, mengingat secara geografis terletak di satu kawasan pantai timur Surabaya yang sama.



Gambar 4.1 Denah Perumahan Pantai Timur Surabaya

Tabel 4.1. Data Perumahan Bumi Marina Emas Surabaya (Hasil Kuisisioner)

DATA	JUMLAH
Pemakaian air maksimum per orang per hari	55 liter
Pemakaian air minimum per orang per hari	40 liter
Populasi atau jumlah KK saat ini	285 KK
Persentase pertumbuhan penduduk	6%
Intensitas curah hujan	40-45 l/sec/ha
Kemiringan tanah	0,05
Kualitas air	agak asin
Denah perumahan	terlampir
Data tanah	clay

Tabel 4.2. Data Perumahan Laguna Indah Surabaya (Hasil Kuisisioner)

DATA	JUMLAH
Pemakaian air maksimum per orang per hari	60 liter
Pemakaian air minimum per orang per hari	50 liter
Populasi atau jumlah KK saat ini	483 KK
Persentase pertumbuhan penduduk	5%
Intensitas curah hujan	40-45 l/sec/ha
Kemiringan tanah	0,003
Kualitas air	baik
Denah perumahan	terlampir
Data tanah	clay + sandy silt

4.2 Existing Treatment

Adapun sistem pembuangan limbah di perumahan pantai timur Surabaya selama ini masih banyak yang belum memenuhi syarat. Pihak developer maupun masyarakat di daerah tersebut membuang limbah perumahan langsung menuju ke sungai terdekat yang kemudian akan menuju ke laut atau langsung membuangnya ke laut tanpa diolah secara memadai terlebih dahulu.

Selama ini ada dua macam saluran pembuangan limbah rumah tangga dari perumahan pantai timur Surabaya. Pertama melalui *septic tank* dengan rembesan dan yang kedua melalui drainase yang langsung menuju ke sungai dan bermuara ke laut. Hal ini cukup berpotensi menimbulkan pencemaran di sekitar pantai timur Surabaya karena limbah tersebut tidak mengalami pengolahan terlebih dahulu. Sehingga otomatis konsentrasi limbah yang dibuang ke pantai timur Surabaya tidak sesuai dengan standar baku mutu yang telah ditetapkan oleh Kementrian Lingkungan Hidup.

4.3 Dasar-Dasar Pemilihan Lokasi

Adapun sebelumnya telah dilakukan perancangan desain *outfall* untuk Teluk Jakarta pada tahun 1995 sebagai tugas akhir. Dalam penelitian tersebut dilakukan perancangan *outfall* untuk tipe *Multiple Port*. Inti dari penelitian tersebut yaitu melakukan analisa teknis untuk perancangan yang telah dihasilkan melalui iterasi untuk mendapatkan ukuran yang terbaik dan paling efektif. Penelitian tersebut juga menentukan apakah desain yang telah dibuat ekonomis atau tidak, karena itu di dalamnya terdapat juga analisa biaya.

Kelemahan dari penelitian tersebut yaitu perancangan yang dilakukan hanya pada pemilihan diameter, jarak antar port dan besarnya *initial dilution*. Namun kriteria teknis yang lainnya masih belum dipenuhi dengan baik. Selain itu data-data lingkungan yang digunakan masih kurang lengkap dan tidak *up to date* lagi (Hendratmoko, 1995).

Dari situ timbul keinginan untuk melakukan perancangan *outfall* yang lebih aplikatif dengan mempergunakan data lingkungan yang lebih lengkap. Oleh sebab itu dipilih perancangan *outfall* untuk limbah buangan dari perumahan Bumi Marina Emas dan Laguna Indah, mengingat keduanya terletak di lokasi yang dekat dengan pantai Timur Surabaya. Sedangkan selama ini sistem pembuangan limbah di perumahan Bumi Marina Emas dan Laguna Indah yang terdahulu secara teknis masih kurang dan belum memenuhi syarat seperti yang telah dijelaskan pada penjelasan sebelumnya. Sehingga memungkinkan untuk memakai teknologi *ocean outfall* sebagai alternatif pembuangan limbah rumah tangga.

4.4 Keadaan Hidro-Oseanografi

Untuk keperluan perancangan *ocean outfall* diperlukan data berupa data lingkungan di sekitar pantai timur Surabaya. Selengkapny data-data tersebut diringkas dan dapat dilihat pada tabel 4.3.

4.4.1 Data Gelombang

Berdasarkan hasil penelitian di Pantai Timur Surabaya sebelumnya, berdasarkan grafik peramalan gelombang dengan menggunakan faktor kecepatan angin dan perhitungan fetch didapatkan tinggi gelombang sebesar 0,7 m dengan periode 6,6 detik (Rahayu,2005).

4.4.2 Pasang Surut

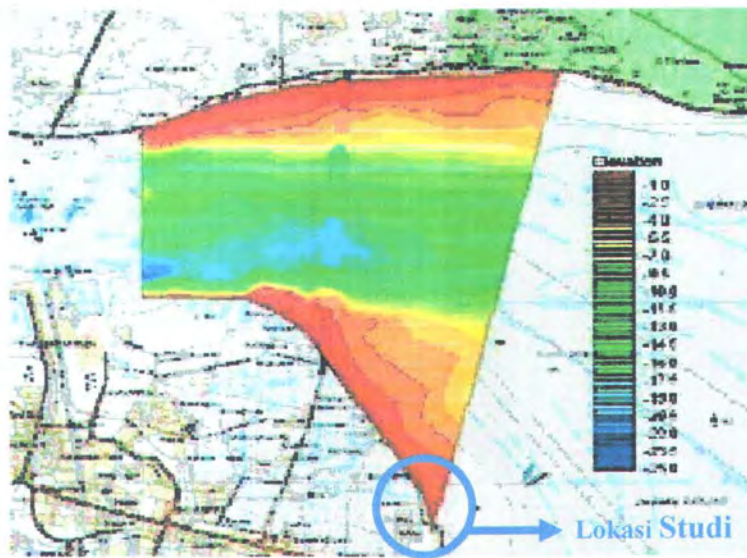
Gerak pasang surut muka air laut sangat penting untuk diketahui mengingat berbagai kepentingan diantaranya penentuan kedalaman dalam perhitungan stabilitas pipa. Dari hasil penelitian sebelumnya didapatkan bahwa jenis pasang surut termasuk jenis pasang surut campuran cenderung ke harian ganda. Ini berarti bahwa daerah penelitian memiliki tipe air laut dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut, tetapi tinggi dan periode yang sangat berbeda (Rahayu,2005).

4.4.3 Pola Arus

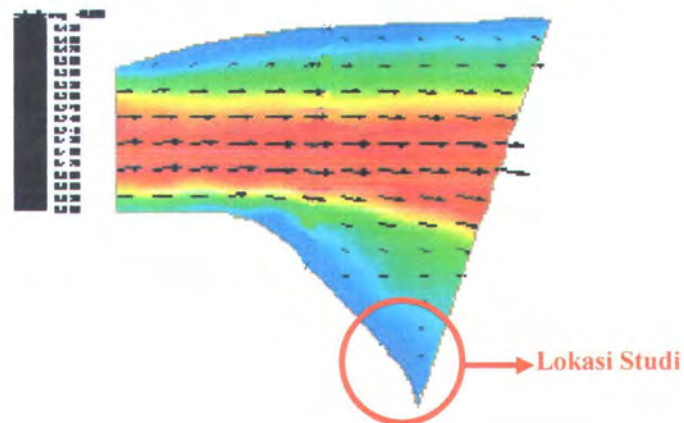
Pola arus di perairan Pantai Timur Surabaya dipelajari dengan pengukuran arus langsung di lapangan dan simulasi dengan model matematik berdasarkan penelitian sebelumnya. Arus dominan didefinisikan sebagai besaran kecepatan arus (besar dan arah) dengan frekuensi kejadian paling tinggi. Adapun didapatkan bahwa pola arus yang dominan menuju ke arah barat dengan arah $247,5^0$ sampai dengan $292,5^0$. Secara lengkap gambar pola arus dapat dilihat pada gambar 4.2 sampai dengan 4.4 berikut. Dimana kecepatan arus maksimal sebesar 0,4 m/s dan kecepatan arus minimal 0,1 m/s.

Tabel 4.3. Data Lingkungan Pantai Timur Surabaya (Rahayu, 2005)

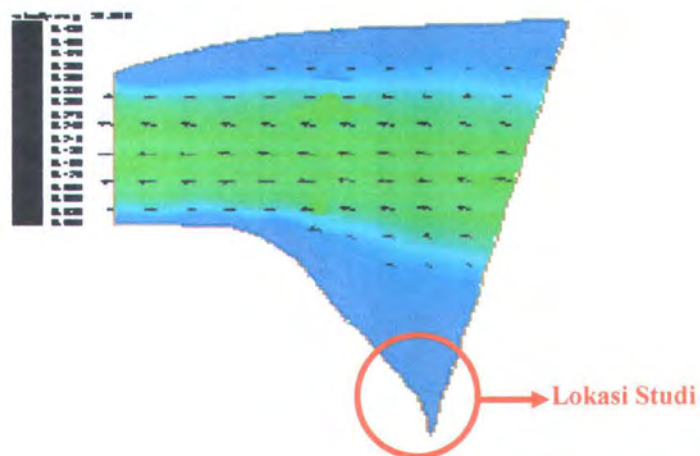
DATA	JUMLAH
Salinitas	23 ⁰ / ₀₀
Tipe pasang surut	campuran harian ganda
HWL	+ 1,76 m
MSL	1,8 m
LWL	-0,6 m
Kecepatan arus maksimum	0,4 m/s
Kecepatan arus minimum	0,1 m/s
Tinggi gelombang refraksi	0,7m
Periode gelombang	6,6 s
Kecepatan angin	18,025 m/s
Jenis tanah	berlumpur



Gambar 4.2 Lokasi pola arus yang ditinjau (Armono, 2005)



Gambar 4.3 Pola arus pada saat pasang (Armono, 2005)



Gambar 4.4 Pola arus pada saat surut (Armono, 2005)



BAB 5

PERANCANGAN *OCEAN OUTFALL*

BAB 5

PERANCANGAN OCEAN OUTFALL

5.1 Penentuan Debit Limbah Sebelum Pengolahan

Berdasarkan lampiran data yang ada, maka dapat dilakukan perhitungan debit maksimal yang dikeluarkan oleh perumahan. Adapun sebelumnya dilakukan analisa jumlah penduduk untuk 20 tahun mendatang sesuai dengan umur perancangan *Waste Water Treatment* melalui 2 metode yaitu Metode Logistik dan Metode Curve Linear.

5.1.1 Debit Limbah Untuk Perumahan Bumi Marina Emas

Berdasarkan data jumlah KK 285, dengan asumsi 1 KK 4 orang maka jumlah penduduk saat ini 1140 orang. Sesuai dengan penjelasan sebelumnya ada 2 metode perhitungan jumlah penduduk yang digunakan.

Untuk metode Logistik berdasarkan persamaan (5) dan data dari tabel 4.1 didapatkan $P_{sat} = 23405$ KK. Kemudian dari hasil persamaan 5 dengan berdasarkan persamaan (7) dan (8) maka didapatkan nilai $a = 4,28$ dan nilai $b = -0,06$. Selanjutnya berdasarkan persamaan (6) maka $P = 1028$ KK atau sejumlah 4414 orang. Untuk metode Curve Linear Berdasarkan persamaan (9) dan data dari tabel 4.1 dengan tahun yang digunakan sebesar 20 tahun (umur perancangan WWT) didapatkan hasil akhir $P = 2508$ orang.

Berdasarkan kedua perhitungan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa jumlah penduduk terbanyak didapat dari perhitungan dengan metode Logistik. Sehingga dengan demikian berdasarkan persamaan (10) dan data jumlah pembuangan air per orang dari tabel 4.1 dapat ditentukan besarnya debit yang mengalir pada perumahan untuk 20 tahun yang akan datang yaitu sebesar $55 \text{ lt/day} \times 4414$ dan didapatkan hasil akhir $242,77 \text{ m}^3/\text{day}$.

5.1.2 Debit Limbah Untuk Perumahan Laguna Indah

Berdasarkan data jumlah KK 483, dengan asumsi 1 KK 4 orang maka jumlah penduduk saat ini 1932 orang. Sesuai dengan penjelasan sebelumnya ada 2 metode perhitungan jumlah penduduk yang digunakan.

Untuk metode Logistik berdasarkan persamaan (5) dan data dari tabel 4.2 didapatkan $P_{\text{sat}} = 3777,97$ KK. Kemudian dari hasil persamaan 5 dengan berdasarkan persamaan (7) dan (8) maka didapatkan nilai $a = 1,81$ dan nilai $b = -0,06$. Selanjutnya berdasarkan persamaan (6) maka $P = 1330$ KK atau sejumlah 5321 orang. Untuk metode Curve Linear Berdasarkan persamaan (9) dan data dari tabel 4.2 dengan tahun yang digunakan sebesar 20 tahun (umur perancangan WWT) didapatkan hasil akhir $P = 3864$ orang.

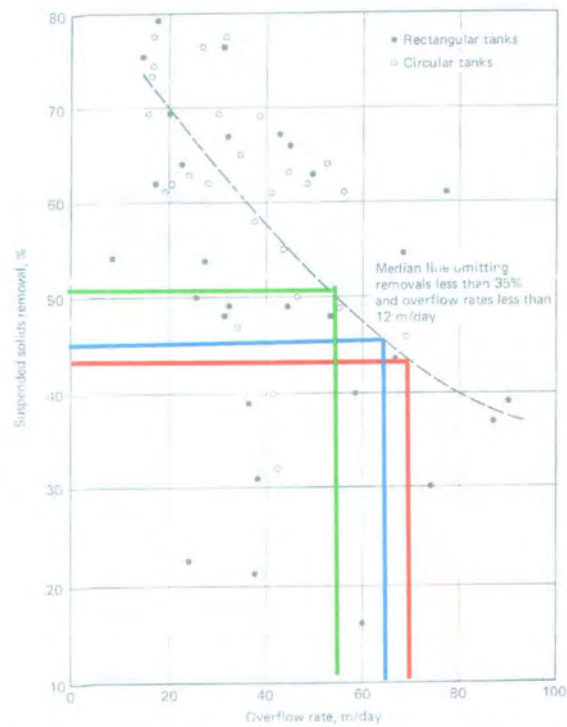
Berdasarkan kedua perhitungan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa jumlah penduduk terbanyak didapat dari perhitungan dengan metode Logistik. Sehingga dengan demikian berdasarkan persamaan (10) dan data jumlah pembuangan air per orang dari tabel 1 dapat ditentukan besarnya debit yang mengalir pada perumahan untuk 20 tahun yang akan datang yaitu sebesar $60 \text{ lt/day} \times 5321$ sehingga didapatkan hasil akhir sebesar $319,26 \text{ m}^3/\text{day}$.

5.2 Penentuan Debit Limbah Setelah Pengolahan

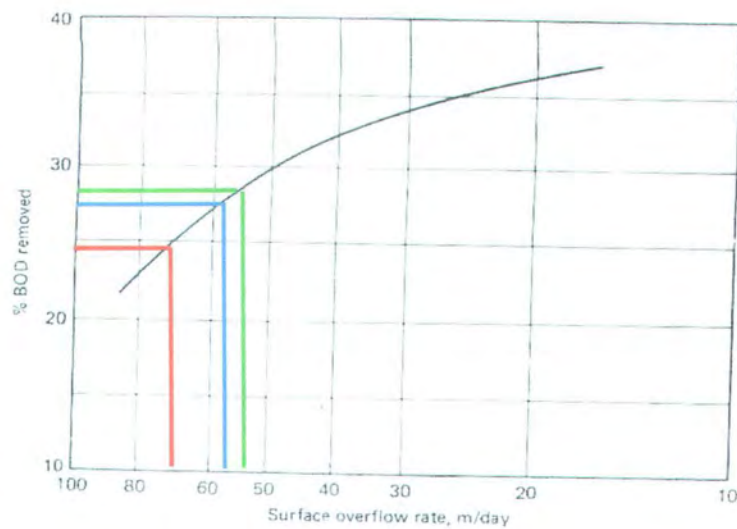
Perhitungan debit pada Waste Water Treatment secara berurutan seperti di bawah ini. Terdiri dari *screening* dengan pengurangan debit rata-rata sebesar $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ sesuai dengan persamaan (1). Kemudian *grit removal* dengan pengurangan debit rata-rata sebesar $6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ sesuai dengan persamaan (2). Selanjutnya *primary treatment* dengan syarat untuk *Suspended Solid Removal* dan *BOD removal* yaitu $20 \text{ m/day} \leq V \leq 80 \text{ m/day}$ Dengan demikian maka melalui *trial and error* dapat ditentukan besarnya *flow rate*.

Adapun hasilnya yaitu untuk perumahan Bumi Marina Emas setelah *screening* debitnya diperoleh $242,76 \text{ m}^3/\text{day}$ dan untuk *grit removal debitnya* diperoleh $242,74 \text{ m}^3/\text{day}$. Sedangkan untuk perumahan Laguna Indah setelah *screening* debitnya diperoleh $319,25 \text{ m}^3/\text{day}$ dan untuk *grit removal debitnya* diperoleh $319,23 \text{ m}^3/\text{day}$. Kemudian untuk iterasi pada primary treatment untuk perumahan Bumi Marina Emas pada asumsi $A = 20 \text{ m}^2$ didapat $V = 12,137 \text{ m/day}$ (tidak memenuhi), asumsi $A = 15 \text{ m}^2$ didapat $V = 16,18 \text{ m/day}$ (tidak memenuhi), asumsi $A = 10 \text{ m}^2$ didapat $V = 24,27 \text{ m/day}$ (memenuhi), asumsi $A = 5 \text{ m}^2$ didapat $V = 54,58 \text{ m/day}$ (memenuhi). Dengan demikian diambil $V = 54,58 \text{ m/day}$ dengan pertimbangan bahwa *Suspended Solid Removal* dan *BOD Removal* yang terjadi tidak terlalu besar. Sedangkan untuk perumahan Laguna Indah pada asumsi $A = 20 \text{ m}^2$ didapat $V = 15,96 \text{ m/day}$ (tidak memenuhi), asumsi $A = 15 \text{ m}^2$ didapat $V = 21,28 \text{ m/day}$ (memenuhi), asumsi $A = 10 \text{ m}^2$ didapat $V = 31,92 \text{ m/day}$ (memenuhi), asumsi $A = 5 \text{ m}^2$ didapat $V = 63,85 \text{ m/day}$ (memenuhi). Dengan demikian diambil $V = 63,85 \text{ m/day}$ dengan pertimbangan bahwa *Suspended Solid Removal* dan *BOD Removal* yang terjadi tidak terlalu besar.

Selanjutnya berdasarkan grafik pada gambar 5.1 dan 5.2 dengan garis berwarna hijau berikut dapat dilihat bahwa pada perumahan Bumi Marina Emas besarnya pengurangan *Suspended Solid Removal* sebesar 50 % dan persentase pengurangan *BOD removal* 28 %. Sedangkan dengan garis berwarna biru pada perumahan Laguna Indah persentase pengurangan *Suspended Solid Removal* sebesar 45 % sedangkan untuk persentase pengurangan *BOD removal* sebesar 27 %. Hasilnya untuk perumahan Bumi Marina Emas debit setelah *Suspended Solid Removal* sebesar $121,37 \text{ m}^3/\text{day}$ dan setelah *BOD Removal* sebesar $87,39 \text{ m}^3/\text{day}$. Sedangkan untuk perumahan Laguna Indah debit setelah *Suspended Solid Removal* sebesar $175,58 \text{ m}^3/\text{day}$ dan setelah *BOD Removal* sebesar $128,17 \text{ m}^3/\text{day}$.



Gambar 5.1 Grafik Hubungan Antara *Suspended Solid Removal* Dengan *Flow Rate*



Gambar 5.2 Grafik Hubungan Antara *BOD Removal* Dengan *Flow Rate*

Dari penentuan debit kedua perumahan didapatkan besarnya debit pembuangan tiap rumah terlalu kecil. Karena data pembuangan yang diperoleh dari pihak *developer* kurang akurat dan memungkinkan terjadi kesalahan dalam memperkirakannya. Hal tersebut berakibat luasan *Waste Water Treatment* yang diperlukan terlalu kecil atau kurang sesuai. Oleh sebab itu digunakan debit pembuangan yang sesuai dengan teori pada dasar-dasar pengelolaan air limbah pada tabel 2.1 sebelumnya. Dari data tersebut diambil besarnya debit rata-rata untuk rumah yang lebih baik yaitu sebesar 310 l/orang/hari karena merupakan perumahan. Kemudian ditentukan jumlah penduduk yang digunakan adalah jumlah penduduk Perumahan Bumi Marina Emas, dengan pertimbangan lebih rasional dan realistis. Sehingga berdasarkan umur perancangan *Waste Water Treatment*, maka didapatkan besarnya debit pembuangan untuk 20 tahun mendatang pada Perumahan Bumi Marina Emas sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Q &= 310 \text{ lt/day} \times 4414 \\ &= 1368340 \text{ lt/day} \\ &= 1368,34 \text{ m}^3/\text{day} \end{aligned}$$

Dengan demikian dapat diperoleh besarnya debit limbah setelah dilakukan pengolahan dengan lengkap. Pengolahan tersebut meliputi *screening* dengan pengurangan debit rata-rata sebesar $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ sesuai dengan persamaan (1). Kemudian *grit removal* dengan pengurangan debit rata-rata sebesar $6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ sesuai dengan persamaan (2). Selanjutnya *primary treatment* dengan syarat untuk *Suspended Solid Removal* dan *BOD removal* yaitu $20 \text{ m/day} \leq V \leq 80 \text{ m/day}$. Kemudian *secondary treatment* dengan penambahan BOD umumnya sekitar 0,1 sampai dengan 0,3 kg per hari per meter kubik (Sugiharto, 1987) dan diasumsikan penambahan BOD sebesar $0,1 \text{ kg/m}^3/\text{day}$. Adapun berdasarkan grafik pada gambar 5.1 dan 5.2 di atas dengan garis berwarna merah didapatkan persentase pengurangan *Suspended Solid Removal* sebesar 43 % dan persentase pengurangan *BOD removal* sebesar 24 %. Untuk hasil pengolahan dan debit limbah yang dikeluarkan secara lebih jelas ditunjukkan pada tabel 5.1 di bawah ini.

Tabel 5.1 Penentuan Debit Berdasarkan Rata-rata Air Limbah Setelah Pengolahan

Jenis Pengolahan	Hasil
Screening	$Q = 1368,33 \text{ m}^3/\text{day}$
Grit Removal	$Q = 1368,31 \text{ m}^3/\text{day}$
Primary Treatment	<p>➤ Asumsi $A = 50 \text{ m}^2$ $V = 27,37 \text{ m/day}$ (memenuhi)</p> <p>➤ Asumsi $A = 40 \text{ m}^2$ $V = 34,21 \text{ m/day}$ (memenuhi)</p> <p>➤ Asumsi $A = 30 \text{ m}^2$ $V = 45,61 \text{ m/day}$ (memenuhi)</p> <p>➤ Asumsi $A = 20 \text{ m}^2$ $V = 68,42 \text{ m/day}$ (memenuhi)</p> <p>Dengan demikian diambil kesimpulan besarnya $V = 68,42 \text{ m/day}$ dengan pertimbangan bahwa <i>Suspended Solid Removal</i> dan <i>BOD Removal</i> yang terjadi tidak terlalu besar.</p>
Suspended Solid Removal	$Q = 779,94 \text{ m}^3/\text{day}$
BOD Removal	$Q = 592,75 \text{ m}^3/\text{day}$
Secondary Treatment	Initial BOD diambil yang paling minimum $0,3 \text{ kg/m}^3$ atau sebesar 300 mg/l

5.3 Analisa Stabilitas Plume, Hidrolika

Setelah penentuan debit maka berikutnya dilakukan perhitungan stabilitas *plume* (Hino, 1994). Berdasarkan persamaan (14) maka:

$$g' = \left(\frac{\Delta \rho_0}{\rho_a} \right) g$$

$$\rho_{\text{air laut}} = 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{discharge}} = \rho_{\text{air tawar}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g' = \left(\frac{1025 - 1000}{1025} \right) 9,81 = 0,24$$



Dari hasil tersebut berdasarkan persamaan (12) didapatkan nilai *Froude Number* seperti pada tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Analisa Stabilitas *Plume*

Arus	U_0 (m/s)	F_0	z/D
Maksimum	0,4	1,29	< 1,5
Rata-rata	0,25	0,81	< 1,5
Minimum	0,1	0,32	< 1,5

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pemilihan kedalaman dan diameter pipa nantinya harus memenuhi persamaan di atas untuk dapat menghasilkan aliran *discharge* yang stabil dan tidak terjadi intrusi oleh air laut ke dalam pipa pembuangan. Selain hal tersebut yang juga penting untuk dianalisa yaitu hidrolika dari pipa *outfall* tersebut. Untuk menentukan hidrolika tersebut digunakan persamaan Hazen William sehingga akan didapatkan besar diameter pipa yang diperlukan serta besarnya *Head Losses* yang terjadi berdasarkan persamaan (16) sebelumnya. Dengan

$$Q = 592,75 \text{ m}^3/\text{day} = 0,0069 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C = 120 \text{ untuk material Concrete (McGhee,1991)}$$

$$S = HL/L$$

Maka besarnya diameter yang tepat didapat melalui iterasi pada tabel iterasi Perhitungan Hidrolika Pipa *Outfall* yang terdapat pada lampiran. Dari iterasi tersebut ditentukan besarnya diameter pipa yang didapatkan pada *range* antara 0,46 sampai dengan 0,5 meter dengan *head losses* sebesar 0,011 meter. Pemilihan tersebut didasarkan pada alasan bahwa antara diameter maupun *head losses* tersebut memiliki harga yang seimbang, yaitu diameter maupun *head losses* yang terjadi tidak terlalu kecil.

5.4 Penentuan dan Perhitungan Pompa

Setelah hidrolika maka selanjutnya ditentukan daya pompa yang diperlukan. Pertama berdasarkan persamaan (17) maka dihitung besarnya *pressure drop*.

$$\Delta P = (11,5 \cdot 10^{-6}) \frac{f L Q^2 S G}{D^5}$$

dengan $\varepsilon / D = 0,12 / 18 = 0,006$ dan $Re = 1,7 \cdot 10^5$ maka berdasarkan grafik didapatkan besarnya $f = 0,028$ sehingga dapat dihitung besarnya

$$\Delta P = (11,5 \cdot 10^{-6}) \frac{0,028 \cdot 2000 \cdot 157,8^2}{0,18^5} = 15276,01$$

$$HHP = \frac{157,8 \cdot 15276,01}{58766} = 41,02 \text{ ft} - \text{lb} / \text{s}$$

$$BHP = \frac{41,02}{0,9} = 45,57 \text{ ft} - \text{lb} / \text{s}$$

5.5 Penentuan Initial Dilution

Dalam perhitungan stabilitas *plume* dan hidrolika juga dilakukan perhitungan *initial dilution*, adapun perhitungannya yaitu sebagai berikut.

❖ Berdasarkan Mukhtasor, et all (2002)

Berdasarkan persamaan (31) didapatkan untuk $z = 1 - 0,4 = 0,6$ m pada kondisi arus maksimum sebesar 0,4 m/s maka

$$lb = \frac{0,24 \cdot 0,0069 \frac{1025 - 1000}{1000}}{0,4^3} = 0,001 \text{ m}$$

$$\frac{S_C \cdot 0,0069}{0,4(0,6)^2} = 0,13 \left(\frac{0,6}{0,001} \right)^{-0,31} + 0,46 \exp \left(\frac{-0,22}{0,6/10,001} \right), S_C = 9,92$$

$$S_m = 1,5 \quad S_c = 14,89$$

$$BOD = \frac{300}{14,89} = 20,15 \text{ mg/l (tidak memenuhi)}$$

Demikian halnya dengan perhitungan selanjutnya sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel 5.3 sampai dengan tabel 5.5 berikut di bawah ini.

Tabel 5.3 Iterasi Perhitungan *Initial Dilution* Arus Maksimum

d (m)	z (m)	D (m)	lb (m)	Sc	Sm	BOD (mg/l)
1,00	0,60	0,40	0,001	9,92	14,89	20,15
1,50	1,09	0,41	0,001	32,70	49,05	6,12
2,00	1,58	0,42	0,001	68,48	102,72	2,92
2,50	2,07	0,43	0,001	117,28	175,92	1,71
3,00	2,56	0,44	0,001	179,08	268,63	1,12
3,50	3,05	0,45	0,001	253,88	380,82	0,79
4,00	3,54	0,46	0,001	341,65	512,48	0,59
4,50	4,03	0,47	0,001	442,40	663,60	0,45
5,00	4,52	0,48	0,001	556,12	834,18	0,36
5,50	5,01	0,49	0,001	682,79	1024,19	0,29
6,00	5,50	0,50	0,001	822,42	1233,64	0,24
6,50	5,99	0,51	0,001	975,01	1462,51	0,21
7,00	6,48	0,52	0,001	1140,54	1710,81	0,18
7,50	6,97	0,53	0,001	1319,01	1978,52	0,15
8,00	7,46	0,54	0,001	1510,43	2265,64	0,13
8,50	7,95	0,55	0,001	1714,78	2572,17	0,12
9,00	8,44	0,56	0,001	1932,07	2898,11	0,10
9,50	8,93	0,57	0,001	2162,30	3243,44	0,09
10,00	9,42	0,58	0,001	2405,45	3608,18	0,08

Tabel 5.4 Iterasi Perhitungan *Initial Dilution* Arus Rata-Rata

d (m)	z (m)	D (m)	lb (m)	Sc	Sm	BOD (mg/l)
1,00	0,60	0,40	0,003	6,31	9,46	31,70
1,50	1,09	0,41	0,003	20,69	31,03	9,67
2,00	1,58	0,42	0,003	43,27	64,91	4,62
2,50	2,07	0,43	0,003	74,05	111,08	2,70
3,00	2,56	0,44	0,003	113,01	169,51	1,77
3,50	3,05	0,45	0,003	160,13	240,19	1,25
4,00	3,54	0,46	0,003	215,41	323,11	0,93
4,50	4,03	0,47	0,003	278,84	418,26	0,72
5,00	4,52	0,48	0,003	350,41	525,62	0,57
5,50	5,01	0,49	0,003	430,13	645,19	0,46
6,00	5,50	0,50	0,003	517,98	776,97	0,39
6,50	5,99	0,51	0,003	613,96	920,94	0,33
7,00	6,48	0,52	0,003	718,07	1077,11	0,28
7,50	6,97	0,53	0,003	830,31	1245,46	0,24
8,00	7,46	0,54	0,003	950,67	1426,00	0,21
8,50	7,95	0,55	0,003	1079,14	1618,72	0,19
9,00	8,44	0,56	0,003	1215,74	1823,61	0,16
9,50	8,93	0,57	0,003	1360,45	2040,68	0,15
10,00	9,42	0,58	0,003	1513,28	2269,92	0,13

Tabel 5.5 Iterasi Perhitungan *Initial Dilution* Arus Minimum

d (m)	z (m)	D (m)	lb (m)	Sc	Sm	BOD (mg/l)
1,00	0,60	0,40	0,04	2,66	3,99	75,20
1,50	1,09	0,41	0,04	8,66	12,99	23,09
2,00	1,58	0,42	0,04	18,05	27,08	11,08
2,50	2,07	0,43	0,04	30,82	46,23	6,49
3,00	2,56	0,44	0,04	46,94	70,41	4,26
3,50	3,05	0,45	0,04	66,41	99,62	3,01
4,00	3,54	0,46	0,04	89,22	133,83	2,24
4,50	4,03	0,47	0,04	115,36	173,04	1,73
5,00	4,52	0,48	0,04	144,83	217,24	1,38
5,50	5,01	0,49	0,04	177,62	266,43	1,13
6,00	5,50	0,50	0,04	213,73	320,60	0,94
6,50	5,99	0,51	0,04	253,16	379,74	0,79
7,00	6,48	0,52	0,04	295,90	443,85	0,68
7,50	6,97	0,53	0,04	341,95	512,92	0,58
8,00	7,46	0,54	0,04	391,31	586,96	0,51
8,50	7,95	0,55	0,04	443,97	665,96	0,45
9,00	8,44	0,56	0,04	499,94	749,91	0,40
9,50	8,93	0,57	0,04	559,21	838,81	0,36
10,00	9,42	0,58	0,04	621,78	932,66	0,32

❖ Berdasarkan Lee and Cheung

Berdasarkan persamaan (32) dan (33) didapatkan perhitungan untuk $z = 1-0,4 = 0,6$ m pada kondisi arus maksimum sebesar 0,4 m/s maka terlebih dahulu menentukan syarat dominasi apakah termasuk BDNF atau BDFF

$$lb = \frac{0,24 \cdot 0,0069 \frac{1025 - 1000}{1000}}{0,4^3} = 0,001 \text{ m}$$

$$z/lb = 0,6/0,001 = 931,42 \gg 1 \text{ maka termasuk BDFF}$$

$$\frac{S_c \cdot 0,0069}{0,4(0,001)^2} = 0,5 \left(\frac{0,6}{0,001} \right)^2, S_c = 28,99$$

$$S_m = 1,5 S_c = 43,48$$

$$BOD = \frac{300}{43,48} = 6,90 \text{ mg/l (memenuhi)}$$

Demikian halnya dengan perhitungan selanjutnya sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel 5.6 sampai dengan tabel 5.8 berikut di bawah ini.

Tabel 5.6 Iterasi Perhitungan *Initial Dilution* Arus Maksimum (Lee and Cheung, 1991)

d (m)	z (m)	lb (m)	Syarat Dominasi	Sc	Sm	BOD (mg/l)
1,00	0,60	0,001	931,42	28,99	43,48	6,90
1,50	1,09	0,001	1090,00	65,22	97,83	3,07
2,00	1,58	0,001	1580,00	115,94	173,91	1,73
2,50	2,07	0,001	2070,00	181,16	271,74	1,10
3,00	2,56	0,001	2560,00	260,87	391,30	0,77
3,50	3,05	0,001	3050,00	355,07	532,61	0,56
4,00	3,54	0,001	3540,00	463,77	695,65	0,43
4,50	4,03	0,001	4030,00	586,96	880,43	0,34
5,00	4,52	0,001	4520,00	724,64	1086,96	0,28
5,50	5,01	0,001	5010,00	876,81	1315,22	0,23
6,00	5,50	0,001	5500,00	1043,48	1565,22	0,19
6,50	5,99	0,001	5990,00	1224,64	1836,96	0,16
7,00	6,48	0,001	6480,00	1420,29	2130,43	0,14
7,50	6,97	0,001	6970,00	1630,43	2445,65	0,12
8,00	7,46	0,001	7460,00	1855,07	2782,61	0,11
8,50	7,95	0,001	7950,00	2094,20	3141,30	0,10
9,00	8,44	0,001	8440,00	2347,83	3521,74	0,09
9,50	8,93	0,001	8930,00	2615,94	3923,91	0,08
10,00	9,42	0,001	9420,00	2898,55	4347,83	0,07

Tabel 5.7 Iterasi Perhitungan *Initial Dilution* Arus Rata-Rata (Lee and Cheung,1991)

d (m)	z (m)	lb (m)	Syarat Dominasi	Sc	Sm	BOD (mg/l)
1,00	0,60	0,003	227,40	18,12	27,17	11,04
1,50	1,09	0,003	363,33	40,76	61,14	4,91
2,00	1,58	0,003	526,67	72,46	108,70	2,76
2,50	2,07	0,003	690,00	113,22	169,84	1,77
3,00	2,56	0,003	853,33	163,04	244,57	1,23
3,50	3,05	0,003	1016,67	221,92	332,88	0,90
4,00	3,54	0,003	1180,00	289,86	434,78	0,69
4,50	4,03	0,003	1343,33	366,85	550,27	0,55
5,00	4,52	0,003	1506,67	452,90	679,35	0,44
5,50	5,01	0,003	1670,00	548,01	822,01	0,36
6,00	5,50	0,003	1833,33	652,17	978,26	0,31
6,50	5,99	0,003	1996,67	765,40	1148,10	0,26
7,00	6,48	0,003	2160,00	887,68	1331,52	0,23
7,50	6,97	0,003	2323,33	1019,02	1528,53	0,20
8,00	7,46	0,003	2486,67	1159,42	1739,13	0,17
8,50	7,95	0,003	2650,00	1308,88	1963,32	0,15
9,00	8,44	0,003	2813,33	1467,39	2201,09	0,14
9,50	8,93	0,003	2976,67	1634,96	2452,45	0,12
10,00	9,42	0,003	3140,00	1811,59	2717,39	0,11

Tabel 5.8 Iterasi Perhitungan *Initial Dilution* Arus Minimum (Lee and Cheung,1991)

d (m)	z (m)	lb (m)	Syarat Dominasi	Sc	Sm	BOD (mg/l)
1,00	0,60	0,041	14,55	7,25	10,87	27,60
1,50	1,09	0,041	26,59	16,30	24,46	12,27
2,00	1,58	0,041	38,54	28,99	43,48	6,90
2,50	2,07	0,041	50,49	45,29	67,93	4,42
3,00	2,56	0,041	62,44	65,22	97,83	3,07
3,50	3,05	0,041	74,39	88,77	133,15	2,25
4,00	3,54	0,041	86,34	115,94	173,91	1,73
4,50	4,03	0,041	98,29	146,74	220,11	1,36
5,00	4,52	0,041	110,24	181,16	271,74	1,10
5,50	5,01	0,041	122,20	219,20	328,80	0,91
6,00	5,50	0,041	134,15	260,87	391,30	0,77
6,50	5,99	0,041	146,10	306,16	459,24	0,65
7,00	6,48	0,041	158,05	355,07	532,61	0,56
7,50	6,97	0,041	170,00	407,61	611,41	0,49
8,00	7,46	0,041	181,95	463,77	695,65	0,43
8,50	7,95	0,041	193,90	523,55	785,33	0,38
9,00	8,44	0,041	205,85	586,96	880,43	0,34
9,50	8,93	0,041	217,80	653,99	980,98	0,31
10,00	9,42	0,041	229,76	724,64	1086,96	0,28

❖ Berdasarkan Lee and Neville-Jones, 1987

Berdasarkan persamaan (27) dan (28) didapatkan perhitungan *initial dilution* untuk $z = 1-0,4 = 0,6$ m pada kondisi arus maksimum sebesar 0,4 m/s maka terlebih dahulu menentukan syarat dominasi apakah BDNF atau BDFF.

$$J = \frac{0,4(0,24)3,14(0,4^2)}{4} = 0,01$$

$$\frac{HU^3}{J} = \frac{0,6(0,4^3)}{0,01} = 3,20 < 5 \text{ maka termasuk BDNF}$$

$$s_c = 0,31 \frac{0,01^{1/3} 0,6^{5/3}}{0,0069}, S_c = 6,68$$

$$S_m = 1,5 S_c = 12,52$$

$$BOD = \frac{300}{12,52} = 23,96 \text{ mg/l (tidak memenuhi)}$$

Demikian halnya dengan perhitungan selanjutnya sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel 5.9 sampai dengan tabel 5.11 berikut di bawah ini.

Tabel 5.9 Iterasi Perhitungan *Initial Dilution* Horizontal Arus Maksimum

d (m)	z (m)	D (m)	J	Syarat Dominasi	Sc	Sm	BOD (mg/l)
1,00	0,60	0,40	0,01	3,20	8,35	12,52	23,96
1,50	1,09	0,41	0,01	5,53	27,55	41,33	7,26
2,00	1,58	0,42	0,01	7,64	57,89	86,83	3,45
2,50	2,07	0,43	0,01	9,55	99,36	149,04	2,01
3,00	2,56	0,44	0,01	11,28	151,97	227,95	1,32
3,50	3,05	0,45	0,02	12,84	215,71	323,57	0,93
4,00	3,54	0,46	0,02	11,33	290,59	435,88	0,69
4,50	4,03	0,47	0,02	12,90	376,60	564,90	0,53
5,00	4,52	0,48	0,02	14,46	473,75	710,62	0,42
5,50	5,01	0,49	0,02	16,03	582,03	873,05	0,34
6,00	5,50	0,50	0,02	17,60	701,45	1052,17	0,29
6,50	5,99	0,51	0,02	19,17	832,00	1248,00	0,24
7,00	6,48	0,52	0,02	20,74	973,69	1460,54	0,21
7,50	6,97	0,53	0,02	22,30	1126,51	1689,77	0,18
8,00	7,46	0,54	0,02	23,87	1290,47	1935,71	0,15
8,50	7,95	0,55	0,02	25,44	1465,57	2198,35	0,14
9,00	8,44	0,56	0,02	22,95	1651,79	2477,69	0,12
9,50	8,93	0,57	0,02	23,44	1849,16	2773,74	0,11
10,00	9,42	0,58	0,03	23,88	2057,66	3086,48	0,10

Tabel 5.10 Iterasi Perhitungan *Initial Dilution* Horizontal Arus Rata-Rata

d (m)	z (m)	D (m)	J	Syarat Dominasi	Sc	Sm	BOD (mg/l)
1,00	0,60	0,40	0,01	1,25	5,22	7,83	38,33
1,50	1,09	0,41	0,01	2,16	17,22	25,83	11,62
2,00	1,58	0,42	0,01	2,98	36,18	54,27	5,53
2,50	2,07	0,43	0,01	3,73	62,10	93,15	3,22
3,00	2,56	0,44	0,01	4,41	94,98	142,47	2,11
3,50	3,05	0,45	0,01	5,02	134,82	202,23	1,48
4,00	3,54	0,46	0,01	5,57	181,62	272,43	1,10
4,50	4,03	0,47	0,01	6,08	235,38	353,06	0,85
5,00	4,52	0,48	0,01	6,54	296,09	444,14	0,68
5,50	5,01	0,49	0,01	6,95	363,77	545,65	0,55
6,00	5,50	0,50	0,01	7,33	438,41	657,61	0,46
6,50	5,99	0,51	0,01	7,67	520,00	780,00	0,38
7,00	6,48	0,52	0,01	7,98	608,56	912,83	0,33
7,50	6,97	0,53	0,01	8,27	704,07	1056,11	0,28
8,00	7,46	0,54	0,01	8,52	806,54	1209,82	0,25
8,50	7,95	0,55	0,01	8,75	915,98	1373,97	0,22
9,00	8,44	0,56	0,01	8,97	1032,37	1548,56	0,19
9,50	8,93	0,57	0,02	9,16	1155,72	1733,58	0,17
10,00	9,42	0,58	0,02	9,33	1286,03	1929,05	0,16

Tabel 5.11 Iterasi Perhitungan *Initial Dilution* Horizontal Arus Minimum

d (m)	z (m)	D (m)	J	Syarat Dominasi	Sc	Sm	BOD (mg/l)
1,00	0,60	0,40	0,003	0,20	2,41	3,61	83,01
1,50	1,09	0,41	0,003	0,35	6,62	9,94	30,19
2,00	1,58	0,42	0,003	0,53	12,10	18,14	16,53
2,50	2,07	0,43	0,003	0,60	19,92	29,87	10,04
3,00	2,56	0,44	0,004	0,70	28,82	43,22	6,94
3,50	3,05	0,45	0,004	0,80	39,17	58,75	5,11
4,00	3,54	0,46	0,004	0,89	50,95	76,42	3,93
4,50	4,03	0,47	0,004	1,01	94,15	141,23	2,12
5,00	4,52	0,48	0,004	1,05	118,44	177,66	1,69
5,50	5,01	0,49	0,005	1,11	145,51	218,26	1,37
6,00	5,50	0,50	0,005	1,17	175,36	263,04	1,14
6,50	5,99	0,51	0,005	1,20	208,00	312,00	0,96
7,00	6,48	0,52	0,005	1,30	243,42	365,13	0,82
7,50	6,97	0,53	0,005	1,32	281,63	422,44	0,71
8,00	7,46	0,54	0,005	1,36	322,62	483,93	0,62
8,50	7,95	0,55	0,006	1,40	366,39	549,59	0,55
9,00	8,44	0,56	0,006	1,41	412,95	619,42	0,48
9,50	8,93	0,57	0,006	1,49	462,29	693,43	0,43
10,00	9,42	0,58	0,006	1,49	514,41	771,62	0,39

Karena disini *initial dilution* telah memenuhi syarat Standar Baku Mutu yaitu maksimal BOD sebesar 10 mg/l, maka tidak perlu dilakukan perhitungan *initial dilution* untuk *multiport*. Karena hal tersebut dilakukan hanya jika perhitungan untuk *single port* tidak memenuhi syarat Standar Baku Mutu.

5.6 Skenario Rute

Selanjutnya menentukan skenario rute yang akan dilalui oleh pipa *outfall*. Untuk lebih jelasnya rute tersebut seperti yang terlihat pada gambar 5.3. Penentuan rute ini didasarkan pada perhitungan BOD dengan minimal kedalaman yang diperlukan sebesar 4 m. Kemudian juga berdasarkan hidrolika pipa yang memenuhi yaitu pada kedalaman 4 - 6 m. Oleh sebab itu ditentukan rute-rute dengan kedalaman yang berkisar antara 4-6 m. Rute yang dipilih juga disesuaikan dengan topografinya, dimana karena sekeliling rute tersebut merupakan daerah ranjau, sehingga perlu dicari lokasi yang paling tepat sekalipun banyak alternatif rute untuk kedalaman yang diinginkan.



Gambar 5.3 Skenario Rute Pipa *Outfall*

Sebagai penjelasan dari gambar 5.3 di atas yaitu sebagai berikut. Untuk seluruh skenario terletak pada kedalaman 4 sampai dengan 6 meter. Dimana jarak dari lokasi ke kedalaman tersebut yaitu masing-masing skenario A kurang lebih 4 - 5 km atau sejauh 4000 - 5000 meter, skenario B terletak pada jarak kurang lebih 2 - 2,5 km atau 2000 - 2500 meter, skenario C terletak pada jarak kurang lebih 2,5 - 3 km atau 2500 - 3000 meter. Dari rute tersebut diputuskan hanya dianalisa satu rute saja, dengan alasan ekonomis, karena jarak tidak berpengaruh pada analisa stabilitas nantinya. Berdasarkan gambar 5.3 maka diputuskan untuk menganalisa skenario B, karena jaraknya paling dekat sehingga biayanya paling minimalis daripada skenario lainnya. Hasil pemilihan rute dapat dilihat pada gambar 5.4 di bawah ini.



Gambar 5.4 Skenario Pipa *Outfall* Rute B

5.7 Analisa Pola arus

Dari data pola arus yang terdapat pada gambar 4.2 sampai dengan 4.4 dapat dilihat bahwa untuk skenario lokasi yang direncanakan akan berlaku pola arus yang sama. Pada saat pasang maka pola arus yang terjadi yaitu menuju ke arah barat Selat Madura kemudian menuju ke Laut Jawa. Sehingga *discharge* yang berasal dari *outfall* akan ikut mengalir ke arah tersebut dan tidak akan kembali lagi ke daratan ataupun terjadi intrusi dengan air laut.

Sedangkan pada saat surut pola arus yang terjadi akan menuju ke sebelah Timur Selat Madura dan selanjutnya akan menuju ke Selat Bali. Secara umum diprediksikan *discharge* yang berasal dari *outfall* pada saat surut akan mengikuti arah tersebut dan menuju ke laut lepas. Dengan demikian tidak terjadi kemungkinan bahwa *discharge* akan kembali ke daratan di sekitar Pantai Timur Surabaya.

5.8 Penentuan *Secondary Dilution* dan *Bacterial Decay*

Selain penentuan BOD perlu juga dilakukan perhitungan besarnya *secondary dilution* untuk menentukan jumlah *coliform* agar dapat diketahui apakah kadarnya memenuhi standar yang berlaku atau tidak. Apabila tidak memenuhi dapat terjadi bahwa kandungan *coliform* tersebut tidak hanya menyebar menuju ke laut, tetapi bisa menuju daerah tambak yang ada di sekitar perumahan Pantai Timur Surabaya. Adapun hasil perhitungannya dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini. Sedangkan perhitungan lengkapnya terdapat pada lampiran C.

$$a = 0,01 \text{ cm}^{2/3}/\text{s} = 0,000001 \text{ m}^{2/3}/\text{s}$$

$$b = 1/3 \text{ kedalaman} = 1,33 \text{ m}$$

$$x = \text{jarak ke tambak terdekat} = 2240 \text{ m}$$

$$u = 0,4 \text{ m/s (arus maksimum)}$$

$$K = 0,000001 \cdot 1,33^{4/3} = 0,0000015$$

$$\text{Untuk arus maksimal } t = x/u = 2240/0,4 = 5600 \text{ s} = 1,6 \text{ jam}$$

$$S_f = \frac{1}{\operatorname{erf} \left[\sqrt{\frac{1,5}{\left(1 + 8 \frac{0,0000015 \cdot 22400}{0,4 \cdot 1,33^2}\right)^3 - 1}} \right]} = 343,64$$

Untuk $S_m = 512,48$ pada arus maksimal maka perhitungannya sebagai berikut

$$S_{\text{total}} = S_m \times S_b = 512,48 \times 309,28 = 158497,9$$

Dengan initial coliform $5 \cdot 10^7$ (Hino, 1994) maka didapatkan:

$$\text{Kadar coliform} = 50000000 / 158497,9 = 315,46 \text{ MPN/100ml (memenuhi)}$$

Demikian untuk perhitungan selanjutnya didapatkan hasil pada tabel-tabel berikut ini.

❖ Berdasarkan Mukhtasor, et all (2002)

Tabel 5.12 Iterasi Perhitungan *Secondary Dilution* dan *Bacterial Decay*

Arus Maksimum

d (m)	z (m)	D (m)	Sm	Sf	Sb	Stotal	Coliform (MPN/100ml)
4,00	3,54	0,46	512,48	343,64	309,28	158497,9	315,46
4,50	4,03	0,47	663,60	343,64	309,28	205236,5	243,62
5,00	4,52	0,48	834,18	343,64	309,28	257990,5	193,81
5,50	5,01	0,49	1024,19	343,64	309,28	316757	157,85
6,00	5,50	0,50	1233,64	343,64	309,28	381533,9	131,05

Tabel 5.13 Iterasi Perhitungan *Secondary Dilution* dan *Bacterial Decay*

Arus Rata-Rata

d (m)	z (m)	D (m)	Sm	Sf	Sb	Stotal	Coliform (MPN/100ml)
4,00	3,54	0,46	512,48	698,23	523,68	268373,5	186,31
4,50	4,03	0,47	663,60	698,23	523,68	347512,7	143,88
5,00	4,52	0,48	834,18	698,23	523,68	436837,3	114,46
5,50	5,01	0,49	1024,19	698,23	523,68	536342,6	93,22
6,00	5,50	0,50	1233,64	698,23	523,68	646024,8	77,40

Tabel 5.14 Iterasi Perhitungan *Secondary Dilution* dan *Bacterial Decay*
Arus Minimum

d (m)	z (m)	D (m)	Sm	Sf	Sb	Stotal	Coliform (MPN/100ml)
4,00	3,54	0,46	512,48	274,73	123,63	63357,19	789,18
4,50	4,03	0,47	663,60	274,73	123,63	82040,27	609,46
5,00	4,52	0,48	834,18	274,73	123,63	103127,86	484,84
5,50	5,01	0,49	1024,19	274,73	123,63	126618,92	394,89
6,00	5,50	0,50	1233,64	274,73	123,63	152512,54	327,84

❖ Berdasarkan Lee and Cheung

Tabel 5.15 Iterasi Perhitungan *Secondary Dilution* dan *Bacterial Decay*
Arus Maksimum (Lee and Cheung, 1991)

d (m)	z (m)	D (m)	Sm	Sf	Sb	Stotal	Coliform (MPN/100ml)
4,00	3,54	0,46	512,48	343,64	309,28	158497,91	315,46
4,50	4,03	0,47	663,60	343,64	309,28	205236,55	243,62
5,00	4,52	0,48	834,18	343,64	309,28	257990,45	193,81
5,50	5,01	0,49	1024,19	343,64	309,28	316757,00	157,85
6,00	5,50	0,50	1233,64	343,64	309,28	381533,94	131,05

Tabel 5.16 Iterasi Perhitungan *Secondary Dilution* dan *Bacterial Decay*
Arus Rata-Rata (Lee and Cheung, 1991)

d (m)	z (m)	D (m)	Sm	Sf	Sb	Stotal	Coliform (MPN/100ml)
4,00	3,54	0,46	512,48	698,23	523,68	268373,47	186,31
4,50	4,03	0,47	663,60	698,23	523,68	347512,74	143,88
5,00	4,52	0,48	834,18	698,23	523,68	436837,25	114,46
5,50	5,01	0,49	1024,19	698,23	523,68	536342,56	93,22
6,00	5,50	0,50	1233,64	698,23	523,68	646024,84	77,40

Tabel 5.17 Iterasi Perhitungan *Secondary Dilution* dan *Bacterial Decay*
Arus Minimum (Lee and Cheung, 1991)

d (m)	z (m)	D (m)	Sm	Sf	Sb	Stotal	Coliform (MPN/100ml)
4,00	3,54	0,46	512,48	274,73	123,63	63357,19	789,18
4,50	4,03	0,47	663,60	274,73	123,63	82040,27	609,46
5,00	4,52	0,48	834,18	274,73	123,63	103127,86	484,84
5,50	5,01	0,49	1024,19	274,73	123,63	126618,92	394,89
6,00	5,50	0,50	1233,64	274,73	123,63	152512,54	327,84

❖ Berdasarkan Lee and Neville-Jones, 1987

Tabel 5.18 Iterasi Perhitungan *Secondary Dilution* dan *Bacterial Decay*

Horizontal Arus Maksimum

d (m)	z (m)	D (m)	Sm	Sf	Sb	Stotal	Coliform (MPN/100ml)
4,00	3,54	0,46	512,48	343,64	309,28	158497,91	315,46
4,50	4,03	0,47	663,60	343,64	309,28	205236,55	243,62
5,00	4,52	0,48	834,18	343,64	309,28	257990,45	193,81
5,50	5,01	0,49	1024,19	343,64	309,28	316757,00	157,85
6,00	5,50	0,50	1233,64	343,64	309,28	381533,94	131,05

Tabel 5.19 Iterasi Perhitungan *Secondary Dilution* dan *Bacterial Decay*

Horizontal Arus Rata-Rata

d (m)	z (m)	D (m)	Sm	Sf	Sb	Stotal	Coliform (MPN/100ml)
4,00	3,54	0,46	512,48	698,23	523,68	268373,47	186,31
4,50	4,03	0,47	663,60	698,23	523,68	347512,74	143,88
5,00	4,52	0,48	834,18	698,23	523,68	436837,25	114,46
5,50	5,01	0,49	1024,19	698,23	523,68	536342,56	93,22
6,00	5,50	0,50	1233,64	698,23	523,68	646024,84	77,40

Tabel 5.20 Iterasi Perhitungan *Secondary Dilution* dan *Bacterial Decay*

Horizontal Arus Minimum

d (m)	z (m)	D (m)	Sm	Sf	Sb	Stotal	Coliform (MPN/100ml)
4,00	3,54	0,46	512,48	274,73	123,63	63357,19	789,18
4,50	4,03	0,47	663,60	274,73	123,63	82040,27	609,46
5,00	4,52	0,48	834,18	274,73	123,63	103127,86	484,84
5,50	5,01	0,49	1024,19	274,73	123,63	126618,92	394,89
6,00	5,50	0,50	1233,64	274,73	123,63	152512,54	327,84

5.9 Analisa Stabilitas Pipa

Setelah melakukan perancangan, maka selanjutnya dilakukan perhitungan untuk analisa stabilitas pipa baik meliputi stabilitas vertical maupun stabilitas lateral.

5.9.1 Stabilitas Vertikal

Saat pipa dalam kondisi badai, pipa akan terangkat. Berbagai eksperimen telah dilakukan untuk menghitung *soil floatation* dan gaya-gaya tahanan. Adapun dari scenario rute yang telah dibuat didapatkan hasil analisa stabilitas vertikal seperti pada perhitungan berikut.

Syarat 1

$$SG \text{ float} \leq SG \text{ pipa}$$

$$SG \text{ float} = \rho \text{ air laut} / \rho \text{ air murni} = 1025 / 1000 = 1,025$$

$$SG \text{ pipa} = \rho \text{ pipa} / \rho \text{ air murni}$$

$$\rho \text{ pipa} = 12525,42$$

$$SG \text{ pipa} = 12,52542$$

$$1,025 \leq 12,53 \quad (\text{memenuhi})$$

Syarat 2

$$SG \text{ pipa} \leq SG \text{ sink}$$

$$SG \text{ sink} = SG_{\text{soil}} + \frac{2C}{\rho_{\text{air}} D}$$

$$SG \text{ soil} = \frac{\gamma_d (1 + e)}{\gamma_w}$$

$$SG \text{ soil} = 26,53659$$

$$SG \text{ sink} = 33,67944$$

$$12,53 \leq 33,68 \quad (\text{memenuhi})$$

Dengan perhitungan yang sama didapatkan hasil seperti pada tabel 5.21 dan 5.22 berikut.

Tabel 5.21 Hasil Perhitungan Analisa Stabilitas Vertikal Pipa *Outfall* Syarat 1

Skenario	D (m)	Syarat	Keterangan
B1-A	0,46	$1,025 < 12,53$	Memenuhi
B1-B	0,48	$1,025 < 11,94$	Memenuhi
B1-C	0,5	$1,025 < 11,4$	Memenuhi
B2-A	0,46	$1,025 < 12,53$	Memenuhi
B2-B	0,48	$1,025 < 11,94$	Memenuhi
B2-C	0,5	$1,025 < 11,4$	Memenuhi
B3-A	0,46	$1,025 < 12,53$	Memenuhi
B3-B	0,48	$1,025 < 11,94$	Memenuhi
B3-C	0,5	$1,025 < 11,4$	Memenuhi

Tabel 5.22 Hasil Perhitungan Analisa Stabilitas Vertikal Pipa *Outfall* Syarat 2

Skenario	D (m)	Syarat	Keterangan
B1-A	0,46	$12,53 < 33,68$	Memenuhi
B1-B	0,48	$11,94 < 33,68$	Memenuhi
B1-C	0,5	$11,4 < 33,68$	Memenuhi
B2-A	0,46	$12,53 < 33,68$	Memenuhi
B2-B	0,48	$11,94 < 33,68$	Memenuhi
B2-C	0,5	$11,4 < 33,68$	Memenuhi
B3-A	0,46	$12,53 < 33,68$	Memenuhi
B3-B	0,48	$11,94 < 33,68$	Memenuhi
B3-C	0,5	$11,4 < 33,68$	Memenuhi

5.9.2 Stabilitas Lateral

Menurut DnV, syarat stabilitas lateral yang diminta yaitu gaya gesek yang terjadi akibat interaksi antara pipa dengan tanah harus lebih besar dari kombinasi gaya drag dan gaya inersia. Minimal besarnya selisih adalah 10%. Adapun dari skenario rute yang telah dibuat didapatkan hasil analisa stabilitas lateral seperti pada perhitungan berikut.

Angka Reynold

$$R_e = \frac{U_e D}{\nu}$$

$$Re = 17170,29$$

$$D = 0,46 \text{ m}$$

Sehingga koefisien hidrodinamikanya:

$$C_d = 1,47$$

$$C_L = 1,17$$

$$C_i = 2,00$$

Gaya-gaya hidrodinamis

$$F_d = 48,38 \text{ kg/m}$$

$$F_l = 38,29 \text{ kg/m}$$

$$F_i = 0,00 \text{ kg/m}$$

Berat submerged dari pipa yang disyaratkan:

$$W = 135,04 \text{ kg/m}$$

SYARAT STABILITAS LATERAL

$$\begin{array}{lcl} S (F_d + F_i) & \leq & \mu (W_s - F_l) \\ 53,21 & \leq & 58,05 \quad (\text{memenuhi}) \end{array}$$

Dengan perhitungan yang sama didapatkan hasil seperti pada tabel 5.23 berikut.

Tabel 5.23 Hasil Perhitungan Analisa Stabilitas Lateral Pipa *Outfall*

Skenario	D (m)	Syarat	Keterangan
B1-A	0,46	$53,21 \leq 58,05$	Memenuhi
B1-B	0,48	$55,43 \leq 60,47$	Memenuhi
B1-C	0,5	$57,64 \leq 62,88$	Memenuhi
B2-A	0,46	$53,21 \leq 58,05$	Memenuhi
B2-B	0,48	$55,43 \leq 60,47$	Memenuhi
B2-C	0,5	$57,64 \leq 62,88$	Memenuhi
B3-A	0,46	$53,21 \leq 58,05$	Memenuhi
B3-B	0,48	$55,43 \leq 60,47$	Memenuhi
B3-C	0,5	$57,64 \leq 62,88$	Memenuhi

5.10 Penentuan Lokasi dan Rute Pipa

Dalam penentuan lokasi rute pipa dipilih rute dari Perumahan Laguna Indah dengan pertimbangan memiliki jarak yang terdekat sehingga membutuhkan panjang pipa yang lebih minimal. Adapun rute tersebut secara lebih jelas tercantum pada peta di gambar 5.3. Untuk skenario yang dipilih yaitu skenario B sesuai dengan hasil perhitungan sebelumnya dengan pertimbangan jarak lebih dekat. Dengan pertimbangan-pertimbangan tersebut maka diharapkan bahwa biaya akhir yang dihasilkan dari perancangan pipa relatif lebih kecil. Selain itu rute yang dipilih sesuai dengan persyaratan pemilihan lokasi rute pipa *outfall* yang baik, di antaranya yaitu tidak mengganggu zona pelayaran, tidak mengganggu aktifitas penangkapan ikan, tidak bersilangan dengan pipa bawah laut lainnya, pada jarak minimal 5 meter dari pantai dan tidak pada daerah dengan arus dan ombak yang besar.

Berdasarkan analisa pola arus dan stabilitas, baik stabilitas vertikal maupun lateral, didapatkan bahwa semua skenario memenuhi persyaratan. Oleh sebab itu diputuskan untuk memilih rute B-1 karena jaraknya yang paling dekat sehingga biaya yang dikeluarkan lebih minimal.

5.11 Penentuan Kedalaman Port

Dari hasil penentuan *initial dilution* sebelumnya maka didapatkan besarnya kedalaman efektif yang diperlukan agar konsentrasi limbah yang dibuang ke laut sesuai dengan standar baku mutu yang ditetapkan oleh Kementrian Lingkungan Hidup tahun 2004. Kedalaman efektif ini merupakan jarak dari permukaan air sampai dengan ujung *port*. Sehingga berdasarkan pada perhitungan sebelumnya didapatkan kedalaman port yaitu sebesar 4 m sesuai dengan pemilihan rute yang telah dilakukan sebelumnya. Karena penentuan rute pada jarak yang terdekat tersebut berada pada daerah dengan kedalaman 4 m. Selain itu pada kedalaman ini pencampuran yang terjadi sudah tidak berbahaya bagi lingkungan laut di sekitarnya.

5.12 Penentuan Jenis Pipa dan Joint-Jointnya

Berdasarkan tipe tanah pada kawasan Pantai Timur Surabaya maka diketahui bahwa tipe tanahnya termasuk clay atau lempung. Oleh sebab itu dengan tipe tanah yang demikian maka dipilih material pipa yang biasa digunakan pada konstruksi pipa *outfall* yaitu berupa pipa besi dengan lapisan beton seperti pada gambar 2.6 sebelumnya, sehingga dibandingkan dengan pipa baja tidak terlalu berat dan lebih aman dari terjadinya kemungkinan korosi. Selain itu pipa tersebut adalah jenis pipa yang paling sering dipakai untuk konstruksi *outfall* karena performanya yang lebih baik dari material yang lain (Grace, 1978).

Pipa berlapis beton cukup tahan dari serangan air laut dan *marine growth*, namun tetap kurang tahan terhadap asam. Hal tersebut biasanya diatasi dengan memberikan perlindungan tahanan terhadap asam dengan memberikan semen di dinding dalam pipa (Grace, 1978).

Pipa berlapis beton juga cukup menguntungkan untuk ukuran diameter pipa sampai dengan 60 cm. Pipa beton dapat dibuat di setiap tempat dan hanya memerlukan teknologi sederhana untuk membuatnya (Sugiharto, 1987). Sedangkan untuk joint-jointnya berupa pengelasan sambungan seperti sambungan pipa pada umumnya.

Adapun untuk wilayah Surabaya, pipa dengan ukuran yang direncanakan yaitu 0,46 m tersebut dapat diperoleh. Ukuran tersebut dapat dicetak dengan panjang standard 4,88 m. Sedangkan untuk perusahaan yang mampu menyediakan yaitu perusahaan besi-beton di kawasan Jl. Gresik, Surabaya.

5.13 Penentuan Parameter Pipa

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan parameter pipa sebagai berikut. Diameter pipa 0,46 meter atau kurang lebih 18 in. Hal tersebut berdasarkan pada pertimbangan ekonomi, dengan diameter minimal maka biaya yang dikeluarkan nantinya juga akan minimal. Berdasarkan iterasi dari *Weights and Dimensions of Standard Reinforced Concrete Subaqueous Pipe* pada tabel 2.2 sebelumnya, maka didapatkan ketebalan

pipa seperti di bawah ini dengan asumsi nominal diameter $X = 24$ in, $X_1 = 18$ in dan $X_2 = 30$ in.

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \longrightarrow \frac{24 - 18}{30 - 18} = \frac{y - 4}{4 - 4} \longrightarrow y = 4$$

- *wall thickness* = 4 in atau sama dengan 10 cm.

Sedangkan untuk berat dari pipa didapatkan melalui perhitungan di bawah ini:

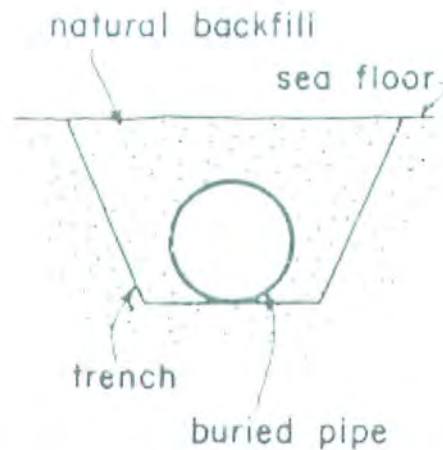
$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \longrightarrow \frac{24 - 18}{30 - 18} = \frac{y - 341}{416 - 341} \longrightarrow y = 353,5$$

- berat = 353,5 lb/ft atau sama dengan 5260,66 kg/m

Sedangkan panjang pipa didapatkan dari panjangnya lokasi atau rute pipa yang dipilih seperti pada penjelasan sebelumnya yaitu skenario B1. Berdasarkan skala pada peta Pantai Timur Surabaya maka didapatkan rute pipa sepanjang 2 km.

5.14 Penentuan Sistem Perlindungan Pipa

Adapun pipa dilindungi sesuai dengan konfigurasi pipa *outfall* yang terdapat pada gambar 2.7 sebelumnya. Berdasarkan kedalaman pipa yaitu pada kedalaman 4 m maka dipilih konfigurasi *buried pipe* dengan *trench*. Adapun lebih jelasnya digambarkan pada gambar di bawah ini (Grace, 1978).



Gambar 5.5 Konfigurasi *Ocean Outfall* Untuk Perumahan Pantai Timur Surabaya.

Metode perlindungan pipa dengan sistem ini dapat menghindari kerusakan pada pipa dari bahaya benturan dengan kapal, jangkar kapal, dan sebagainya. Namun, operasi metode ini membutuhkan biaya yang cukup besar. Selain itu resiko kerusakan pipa selama operasi penguburan juga cukup tinggi. Karena itu sebaiknya sesuai dengan kasus-kasus lain pada umumnya, pipa sebaiknya diletakkan di parit yang telah dibuat, dengan harapan pipa nantinya akan terbenam sendiri secara alami. Kedalaman pemendaman tergantung pada gelombang, ukuran sedimen dan arus. Mengingat tipe tanah di Pantai Timur Surabaya merupakan *clay*, maka proses pemendaman tersebut akan berlangsung dalam kurun waktu yang tidak lama.

Sedangkan untuk perhitungan proteksi katodik adalah sebagai berikut. Berdasarkan persamaan (54) untuk luasan area yang dilindungi $5777,50 \text{ m}^2$ dan *faktor coating breakdown initial, mean* dan *final* masing-masing 1%, 3% dan 5% maka didapatkan besarnya arus total untuk permukaan yang dilindungi (I_c) sebagai berikut.

$$I_{c \text{ initial}} = 5777,60 \cdot 0,01 \cdot 0,85 = 49,11 \text{ mA}$$

$$I_{c \text{ mean}} = 5777,60 \cdot 0,03 \cdot 1,6 = 277,32 \text{ mA}$$

$$I_{c \text{ final}} = 5777,60 \cdot 0,05 \cdot 3,2 = 939,84 \text{ mA}$$

Kemudian dengan design life 20 tahun, dan asumsi *anode* yang umumnya digunakan yaitu *long slender*, maka total berat *anode* yang dibutuhkan berdasarkan persamaan (55) yaitu sebagai berikut.

$$M_t = (8760.277,32.20)/(0,9.2028) = 26620,26 \text{ kg}$$

Kemudian besarnya tahanan anode dengan resistivitas lingkungan 0,35 ohm.m, berdasarkan persamaan (56) didapatkan nilai sebagai berikut.

$$R_a = (0,315.0,35)/(0,22^{0,5}) = 0,49 \text{ ohm}$$

Berdasarkan persamaan (59) ditentukan besarnya kapasitas arus anode (C_a) sebagai berikut.

$$C_a = 65,50.2028.0,9 = 119550,6 \text{ A.jam}$$

Dengan demikian dapat ditentukan jumlah *anode* (n_a) yang dibutuhkan.

$$n_a = 320/0,345 = 927,54 \text{ unit} = 928 \text{ unit}$$

Selanjutnya perlu dicek kebenaran penentuan atau perhitungan di atas berdasarkan persamaan (57) dan (58). Adapun hasilnya didapatkan seperti di bawah ini.

$$n_a c_a \geq 8760 I_{cm} t_d$$

$$927,54.119550,6 \geq 8760.277,32.20$$

$$110887513 \geq 48587305 \text{ (memenuhi)}$$

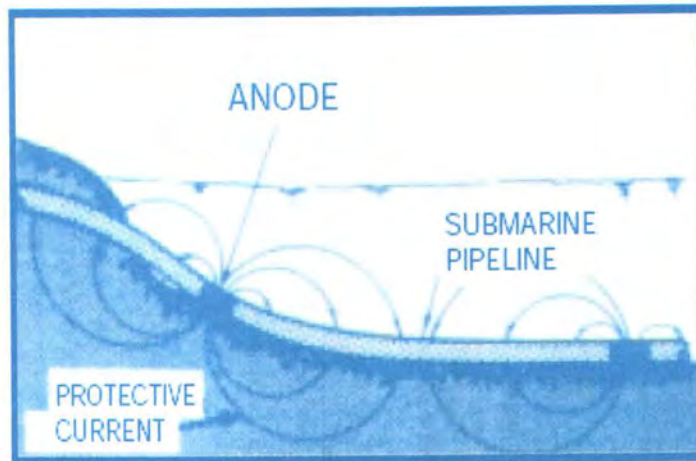
$$n_a I_a \geq I_c$$

$$\text{Dengan } I_a = [-0,9 - (-1,1)] / 0,49 = 0,408 \text{ maka}$$

$$927,54.0,408 \geq 320$$

$$378,83 \geq 320 \text{ (memenuhi)}$$

Prinsip penggunaan *anode* untuk pelindung pipa dapat dilihat pada gambar di bawah berikut ini. Biasanya penggunaannya dengan menggunakan seng atau aluminium dengan bentuk bracelet (gelang) pada jarak yang tetap.



Gambar 5.6 *Anode Pada Submarine Pipeline* (Dimet, 2006)



BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari perancangan *ocean outfall* di atas dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Didapatkan tipe dan parameter *outfall* yang sesuai untuk perumahan Pantai Timur Surabaya meliputi:
 - a. Kadar BOD yang memenuhi persyaratan Standar Baku Mutu Kementrian Lingkungan Hidup 2004 melalui perhitungan *initial dilution* dimulai dari kedalaman 3 m dengan konsentrasi sebesar 0,59 mg/l untuk kedalaman yang dipilih yaitu 4 meter.
 - b. Initial dilution untuk kedalaman 4 meter tersebut sebesar 14,89.
 - c. Lokasi pipa *outfall* berasal dari perumahan Laguna Indah sampai dengan jarak 2 km menuju ke laut, yaitu sampai mencapai kedalaman 4 meter, sesuai dengan skenario yang dipilih yaitu skenario B1.
 - d. Konsentrasi *coliform* yang memenuhi persyaratan Standar Baku Mutu Kementrian Lingkungan Hidup 2004 melalui perhitungan *secondary dilution* pada kedalaman 4-6 m dengan konsentrasi sebesar 315,46 MPN/100 ml untuk kedalaman yang dipilih.
 - e. *Secondary dilution* dan nilai *dilution* setelah *bacterial decay* untuk kedalaman yang dipilih masing-masing sebesar 343,64 dan 309,28.
 - f. Jenis material pipa yang digunakan yaitu besi dengan lapisan *concrete*.
 - g. Panjang pipa sama dengan jarak rute pipa yang dipilih yaitu sejauh 2 km, dengan diameter 0,46 meter dan ketebalan 0,1 meter.
 - h. Besarnya *head losses* yang terjadi 0,011 m dengan BHP pompa yang diperlukan 45,57 ft-lb/s.
 - i. Konfigurasi yang digunakan yaitu *buried pipe* dengan *trench* sesuai dengan tipe tanah pada data lingkungan Pantai Timur Surabaya. Diharapkan nantinya pipa akan terpendam secara alami.
 - j. Jumlah *anode* yang dibutuhkan yaitu sebanyak 928 unit dengan massa total 26620,26 kg.

2. Didapatkan hasil analisa pipa *outfall* meliputi:

- a. Analisa stabilitas vertikal skenario B1, B2 dan B3 memenuhi persyaratan yang ditentukan DnV.

Skenario	D (m)	Syarat	Keterangan
B1-A	0,46	$1,025 < 12,53 < 33,68$	Memenuhi
B1-B	0,48	$1,025 < 11,94 < 33,68$	Memenuhi
B1-C	0,5	$1,025 < 11,4 < 33,68$	Memenuhi
B2-A	0,46	$1,025 < 12,53 < 33,68$	Memenuhi
B2-B	0,48	$1,025 < 11,94 < 33,68$	Memenuhi
B2-C	0,5	$1,025 < 11,4 < 33,68$	Memenuhi
B3-A	0,46	$1,025 < 12,53 < 33,68$	Memenuhi
B3-B	0,48	$1,025 < 11,94 < 33,68$	Memenuhi
B3-C	0,5	$1,025 < 11,4 < 33,68$	Memenuhi

- b. Analisa stabilitas lateral skenario B1, B2 dan B3 memenuhi persyaratan yang ditentukan DnV.

Skenario	D (m)	Syarat	Keterangan
B1-A	0,46	$53,21 \leq 58,05$	Memenuhi
B1-B	0,48	$55,43 \leq 60,47$	Memenuhi
B1-C	0,5	$57,64 \leq 62,88$	Memenuhi
B2-A	0,46	$53,21 \leq 58,05$	Memenuhi
B2-B	0,48	$55,43 \leq 60,47$	Memenuhi
B2-C	0,5	$57,64 \leq 62,88$	Memenuhi
B3-A	0,46	$53,21 \leq 58,05$	Memenuhi
B3-B	0,48	$55,43 \leq 60,47$	Memenuhi
B3-C	0,5	$57,64 \leq 62,88$	Memenuhi

- c. Pola arus untuk tiap skenario memiliki pola yang sama, yaitu pada saat pasang akan menuju ke Selat Madura dan berakhir ke Laut Jawa, sedangkan pada saat surut akan menuju ke Selat Madura dan kemudian menuju Selat Bali.

6.2 Saran

Dari tugas akhir ini disarankan untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan perhitungan yang lebih lengkap pada penentuan *initial dilution*. Yaitu dapat dengan menambahkan stratifikasi yang terjadi pada perairan Pantai Timur Surabaya. Selain itu dapat pula berkembang yaitu dengan menentukan perhitungan atau kemungkinan-kemungkinan yang dapat terjadi pada metode instalasi dari pipa *outfall* yang telah dirancang di atas sesuai dengan kondisi oseanografi pada Pantai Timur Surabaya. Terakhir dapat pula dilakukan analisa keandalan dari perancangan pipa *outfall* tersebut.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Armono, H.D. (2005). Studi Sedimentasi Pada *Approach Bridge Of SURAMADU Bridge Project*. **Laporan Akhir**, Suramadu Bridge Project. Consortium Indonesian Contractor. Surabaya.
- Arnold, K. dan Stewart, M. (1998). **Surface Production Operations**. Gulf Publishing Company. Houston, Texas.
- Bishop, P.L. (1983). **Marine Pollution and Its Control**. McGraw-Hill. Inc., United States of America.
- Brooks, N.H. (1960). *Diffusion of Sewage Effluent in An Ocean Current*. **Proceedings of the 1 st International Conference on Waste Disposal in the Marine Environment**, Pergamon: 246-267.
- Chakrabarti, S.K. (1987). **Hydrodynamics of Offshore Structures**. CBI Industries, Inc. USA.
- Dimet. (2006). **Dimet Tri-Star Cathodic Protection**. www.tristar.com.sg, Singapore.
- Det Norske Veritas-RP-B401. **Cathodic Protection of Submarine Pipelines**. Det Norske Veritas. Norway.
- Grace, R. A. (1978). **Marine Outfall System**. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Hendratmoko, M. (1995). Analisa Teknis Perancangan Ocean Outfall Diffuser Untuk Teluk Jakarta. **Tugas Akhir**, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Hino, M. (1994). **Water Quality and Its Control**. A.A.Balkema, Rotterdam.

Ikhwani, H. (2003). **Hand Out Teknologi Perpipaan Lepas Pantai/Bawah Laut**.
Jurusan Teknik Kelautan – FTK – ITS. Surabaya.

Lee, J.H.W. dan Cheung, V. (1991). **Mixing of Buoyancy-Dominated Jets In A Weak Current**. Proc. Inst. Civil Engineering., Part 2, **91**:113-129.

Lee, J.H.W. dan Neville, J.P. (1987). **Initial Dilution of Horizontal Jet In Crossflow**. Hydraulic Engineering **113**:615-629.

McGhee, T. J. (1991). **Water Supply and Sewerage 6th Edition**. McGraw-Hill Book Company, Inc., United States of America.

Mukhtasor, L.M. Lye, J.J. Sharp. (2002). *A New Approach to Modelling Initial Dilution of A Buoyancy-Dominated Jet in Moving Water*. **Journal Environment Engineering Science**, Vol.1: 101-111.

Mouselli, A.H. (1981). **Offshore Pipeline Design, Analysis and Methods**. PenWell Books. Oklahoma.

Rahayu, S.R. (2005). Study Aplikasi *Mangrove* Dalam Analisa Perubahan Garis Pantai Untuk Perencanaan Perlindungan Pantai Timur Surabaya. **Tugas Akhir**, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Singh, V. P. dan Willi H.H., editor. (1996). **Environtmental Hydraulics**. Kluwer Academic Publisher, Netherlands

Steel, E.W. (1960). **Water Supply and Sewerage 4th Edition**. McGraw-Hill Book Company, Inc., United States of America.

Sugiharto (1987). **Dasar-Dasar Pengolahan Air Limbah**. Universitas Indonesia. Jakarta

Thohiroh, L.H. (2005). Perancangan Pipa Bawah Laut South Sumatra-West Java (SSWJ) Phase II. **Tugas Akhir**, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Triatmodjo,B. (1999). **Teknik Pantai**. Beta Offshet. Yogyakarta.

Wright, S.J. (1977). **Effects Of Ambient Crossflows and Density Stratification On The Characteristics Behavior Of Round Turbulent Buoyant Jets**. Report No. KH-R-36, California Institute of Technology, Pasadena, Calif., USA.



LAMPIRAN A
STANDAR BAKU MUTU
KEMENTERIAN LINGKUNGAN HIDUP 2004

Lampiran III.

Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup

Nomor:

Tahun 2004

MUTU AIR LAUT
K BIODIVERSITAS LAUT

Parameter	Satuan	Baku mutu
FIKSIKA		
kecerahan ^a	m	coral: >5 mangrove: - lamun: >3 alami ³
keabuan	-	<5
kekeruhan ^a	NTU	coral: 20 mangrove: 80 lamun: 20
kepadatan tersuspensi total ^b	mg/l	nihil ¹⁽⁴⁾ alami ^{3(c)}
suhu ^c	°C	coral: 28-30 ^(c) mangrove: 28-32 ^(c) lamun: 28-30 ^(c)
kepadatan lapisan minyak ⁵	-	nihil ¹⁽⁵⁾
FISIKOKIMIA		
pH ^d	-	7 - 8,5 ^(d)
salinitas ^e	‰	alami ^{3(e)} coral: 33-34 ^(e) mangrove: s/d 34 ^(e) lamun: 33-34 ^(e)
oksigen terlarut (DO)	mg/l	>5
OD5	mg/l	20
ammonia total (NH ₃ -N)	mg/l	0,3
fosfat (PO ₄ -P)	mg/l	0,015
nitrat (NO ₃ -N)	mg/l	0,008
nitrit (NO ₂ -N)	mg/l	0,5
sulfida (H ₂ S)	mg/l	0,01
PAH (Poliaromatik hidrokarbon)	mg/l	0,003
senyawa Fenol total	mg/l	0,002
PCB total (poliklor bifenil)	µg/l	0,01
surfaktan (deterjen)	mg/l MBAS	1
minyak & lemak	mg/l	1
pestisida ^f	µg/l	0,01
BT (tributil tin) ⁷	µg/l	0,01
Logam terlarut:		
merkuri (Hg)	mg/l	0,001
kromium heksavalen (Cr(VI))	mg/l	0,005
arsen (As)	mg/l	0,012
Parameter	Satuan	Baku mutu

admium (Cd)	mg/l	0,001
embaga (Cu)	mg/l	0,008
mbal (Pb)	mg/l	0,008
eng (Zn)	mg/l	0,05
kel (Ni)	mg/l	0,05
BOLOGI		
oliform (total) ^a	MPN/100 ml	1000 ^(a)
atogen	sel/100 ml	nihil ¹
ankton	sel/100 ml	tidak bloom ⁶
ADIO NUKLIDA		
omposisi yang tidak diketahui	Bq/l	4

:
 nihil adalah tidak terdeteksi dengan batas deteksi alat yang digunakan (sesuai dengan metode yang digunakan)
 metode analisa mengacu pada metode analisa untuk air laut yang telah ada, baik internasional
 maupun nasional.

ami adalah kondisi normal suatu lingkungan, bervariasi setiap saat (siang, malam dan musim).

ngamatan oleh manusia (*visual*).

ngamatan oleh manusia (*visual*). Lapisan minyak yang diacu adalah lapisan tipis (*thin layer*) dengan
 ketebalan 0,01mm

tidak bloom adalah tidak terjadi pertumbuhan yang berlebihan yang dapat menyebabkan eutrofikasi.

pertumbuhan plankton yang berlebihan dipengaruhi oleh nutrisi, cahaya, suhu, kecepatan arus, dan
 stabilitas plankton itu sendiri.

BT adalah zat *antifouling* yang biasanya terdapat pada cat kapal

perbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <10% kedalaman *euphotic*

perbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <10% konsentrasi rata-rata musiman

perbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <2°C dari suhu alami

perbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <0,2 satuan pH

perbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <5% salinitas rata-rata musiman

berbagai jenis pestisida seperti: DDT, Endrin, Endosulfan dan Heptachlor

perbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <10% konsentrasi rata-rata musiman

Menteri Negara
 Lingkungan Hidup,

ttd

Nabiel Makarim, MPA., MSM.

salinan sesuai dengan aslinya
 Deputi MENLH Bidang Kebijakan dan
 Pelaksanaan Lingkungan Hidup,

Setomo, MPA.



LAMPIRAN B
ITERASI PERHITUNGAN *INITIAL*
***DILUTION*, STABILITAS *PLUME* DAN**
HIDROLIKA PIPA

INITIAL DILUTION VERSUS MUKHTASOR, ET ALL (2002)

$$\frac{S_c Q}{u z^2} = 0,13 \left(\frac{z}{l b} \right)^{-0,31} + 0,46 \exp \left(\frac{-0,22}{z / l b} \right)$$

$$l b = \frac{B}{U^3} \quad \frac{z}{D} > 0,22 F_o$$

$$B = g' \times Q \times \frac{\rho_a - \rho_0}{\rho_0}$$

$$F_o = \frac{U}{\sqrt{g' D}}$$

Q = 0,0069 m³/s
 u max = 0,40 m/s
 u rata2 = 0,25 m/s
 u min = 0,10 m/s
 g' = 0,24 m/s²

ARUS MAKSIMUM = 0,40 m/s

d (m)	z (m)	D (m)	Fo	lb (m)	Sc	Sm	BOD (mg/l)	z/D	z/D Vs 0,22Fo	Q (m ³ /s)	S	L (m)	HL (m)	Keterangan		
														BOD	Stabilitas Plume	Hidrolika
1,00	0,60	0,40	1,29	0,001	9,92	14,89	20,15	1,50	1,50 > 0,28	0,0069	0,000013	400	0,005	tidak memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
1,50	1,09	0,41	1,28	0,001	32,70	49,05	6,12	2,66	2,66 > 0,28	0,0069	0,000012	600	0,007	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
2,00	1,58	0,42	1,26	0,001	68,48	102,72	2,92	3,76	3,76 > 0,28	0,0069	0,000010	800	0,008	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
2,50	2,07	0,43	1,25	0,001	117,28	175,92	1,71	4,81	4,81 > 0,28	0,0069	0,000009	1000	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
3,00	2,56	0,44	1,23	0,001	179,08	268,63	1,12	5,82	5,82 > 0,27	0,0069	0,000008	1200	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
3,50	3,05	0,45	1,22	0,001	253,88	380,82	0,79	6,78	6,78 > 0,27	0,0069	0,000007	1400	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
4,00	3,54	0,46	1,21	0,001	341,65	512,48	0,59	7,70	7,70 > 0,27	0,0069	0,000007	1600	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
4,50	4,03	0,47	1,19	0,001	442,40	663,60	0,45	8,57	8,57 > 0,26	0,0069	0,000006	1800	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
5,00	4,52	0,48	1,18	0,001	556,12	834,18	0,36	9,42	9,42 > 0,26	0,0069	0,000005	2000	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
5,50	5,01	0,49	1,17	0,001	682,79	1024,19	0,29	10,22	10,22 > 0,26	0,0069	0,000005	2200	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
6,00	5,50	0,50	1,16	0,001	822,42	1233,64	0,24	11,00	11,00 > 0,26	0,0069	0,000004	2400	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
6,50	5,99	0,51	1,15	0,001	975,01	1462,51	0,21	11,75	11,75 > 0,25	0,0069	0,000004	2600	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
7,00	6,48	0,52	1,13	0,001	1140,54	1710,81	0,18	12,46	12,46 > 0,25	0,0069	0,000004	2800	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
7,50	6,97	0,53	1,12	0,001	1319,01	1978,52	0,15	13,15	13,15 > 0,25	0,0069	0,000003	3000	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
8,00	7,46	0,54	1,11	0,001	1510,43	2265,64	0,13	13,81	13,81 > 0,24	0,0069	0,000003	3200	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
8,50	7,95	0,55	1,10	0,001	1714,78	2572,17	0,12	14,45	14,45 > 0,24	0,0069	0,000003	3400	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
9,00	8,44	0,56	1,09	0,001	1932,07	2898,11	0,10	15,07	15,07 > 0,24	0,0069	0,000003	3600	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
9,50	8,93	0,57	1,08	0,001	2162,30	3243,44	0,09	15,67	15,67 > 0,24	0,0069	0,000002	3800	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
10,00	9,42	0,58	1,07	0,001	2405,45	3608,18	0,08	16,24	16,24 > 0,24	0,0069	0,000002	4000	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi

ARUS RATA-RATA = 0,25 m/s

d (m)	z (m)	D (m)	Fo	lb (m)	Sc	Sm	BOD (mg/l)	z/D	z/D Vs 0,22Fo	Q (m3/s)	S	L (m)	HL (m)	Keterangan		
														BOD	Stabilitas Plume	Hidrolika
1,00	0,60	0,40	0,81	0,003	6,31	9,46	31,70	1,50	1,50 > 0,19	0,0069	0,000013	400	0,005	tidak memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
1,50	1,09	0,41	0,80	0,003	20,69	31,03	9,67	2,66	2,66 > 0,18	0,0069	0,000012	600	0,007	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
2,00	1,58	0,42	0,79	0,003	43,27	64,91	4,62	3,76	3,76 > 0,18	0,0069	0,000010	800	0,008	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
2,50	2,07	0,43	0,78	0,003	74,05	111,08	2,70	4,81	4,81 > 0,17	0,0069	0,000009	1000	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
3,00	2,56	0,44	0,77	0,003	113,01	169,51	1,77	5,82	5,82 > 0,17	0,0069	0,000008	1200	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
3,50	3,05	0,45	0,76	0,003	160,13	240,19	1,25	6,78	6,78 > 0,17	0,0069	0,000007	1400	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
4,00	3,54	0,46	0,75	0,003	215,41	323,11	0,93	7,70	7,70 > 0,17	0,0069	0,000007	1600	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
4,50	4,03	0,47	0,75	0,003	278,84	418,26	0,72	8,57	8,57 > 0,17	0,0069	0,000006	1800	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
5,00	4,52	0,48	0,74	0,003	350,41	525,62	0,57	9,42	9,42 > 0,16	0,0069	0,000005	2000	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
5,50	5,01	0,49	0,73	0,003	430,13	645,19	0,46	10,22	10,22 > 0,16	0,0069	0,000005	2200	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
6,00	5,50	0,50	0,72	0,003	517,98	776,97	0,39	11,00	11,00 > 0,16	0,0069	0,000004	2400	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
6,50	5,99	0,51	0,72	0,003	613,96	920,94	0,33	11,75	11,75 > 0,16	0,0069	0,000004	2600	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
7,00	6,48	0,52	0,71	0,003	718,07	1077,11	0,28	12,46	12,46 > 0,16	0,0069	0,000004	2800	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
7,50	6,97	0,53	0,70	0,003	830,31	1245,46	0,24	13,15	13,15 > 0,15	0,0069	0,000003	3000	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
8,00	7,46	0,54	0,70	0,003	950,67	1426,00	0,21	13,81	13,81 > 0,15	0,0069	0,000003	3200	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
8,50	7,95	0,55	0,69	0,003	1079,14	1618,72	0,19	14,45	14,45 > 0,15	0,0069	0,000003	3400	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
9,00	8,44	0,56	0,68	0,003	1215,74	1823,61	0,16	15,07	15,07 > 0,15	0,0069	0,000003	3600	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
9,50	8,93	0,57	0,68	0,003	1360,45	2040,68	0,15	15,67	15,67 > 0,15	0,0069	0,000002	3800	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
10,00	9,42	0,58	0,67	0,003	1513,28	2269,92	0,13	16,24	16,24 > 0,15	0,0069	0,000002	4000	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi

ARUS MINIMUM = 0,10 m/s

d (m)	z (m)	D (m)	Fo	lb (m)	Sc	Sm	BOD (mg/l)	z/D	z/D Vs 0,22Fo	Q (m3/s)	S	L (m)	HL (m)	Keterangan		
														BOD	Stabilitas Plume	Hidrolika
1,00	0,60	0,40	0,32	0,04	2,66	3,99	75,20	1,50	1,50 > 0,07	0,0069	0,000013	400	0,005	tidak memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
1,50	1,09	0,41	0,32	0,04	8,66	12,99	23,09	2,66	2,66 > 0,07	0,0069	0,000012	600	0,007	tidak memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
2,00	1,58	0,42	0,32	0,04	18,05	27,08	11,08	3,76	3,76 > 0,07	0,0069	0,000010	800	0,008	tidak memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
2,50	2,07	0,43	0,31	0,04	30,82	46,23	6,49	4,81	4,81 > 0,07	0,0069	0,000009	1000	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
3,00	2,56	0,44	0,31	0,04	46,94	70,41	4,26	5,82	5,82 > 0,07	0,0069	0,000008	1200	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
3,50	3,05	0,45	0,30	0,04	66,41	99,62	3,01	6,78	6,78 > 0,07	0,0069	0,000007	1400	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
4,00	3,54	0,46	0,30	0,04	89,22	133,83	2,24	7,70	7,70 > 0,07	0,0069	0,000007	1600	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
4,50	4,03	0,47	0,30	0,04	115,36	173,04	1,73	8,57	8,57 > 0,07	0,0069	0,000006	1800	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
5,00	4,52	0,48	0,30	0,04	144,83	217,24	1,38	9,42	9,42 > 0,07	0,0069	0,000005	2000	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
5,50	5,01	0,49	0,29	0,04	177,62	266,43	1,13	10,22	10,22 > 0,06	0,0069	0,000005	2200	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
6,00	5,50	0,50	0,29	0,04	213,73	320,60	0,94	11,00	11,00 > 0,06	0,0069	0,000004	2400	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
6,50	5,99	0,51	0,29	0,04	253,16	379,74	0,79	11,75	11,75 > 0,06	0,0069	0,000004	2600	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
7,00	6,48	0,52	0,28	0,04	295,90	443,85	0,68	12,46	12,46 > 0,06	0,0069	0,000004	2800	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
7,50	6,97	0,53	0,28	0,04	341,95	512,92	0,58	13,15	13,15 > 0,06	0,0069	0,000003	3000	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
8,00	7,46	0,54	0,28	0,04	391,31	586,96	0,51	13,81	13,81 > 0,06	0,0069	0,000003	3200	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
8,50	7,95	0,55	0,28	0,04	443,97	665,96	0,45	14,45	14,45 > 0,06	0,0069	0,000003	3400	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
9,00	8,44	0,56	0,27	0,04	499,94	749,91	0,40	15,07	15,07 > 0,06	0,0069	0,000003	3600	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
9,50	8,93	0,57	0,27	0,04	559,21	838,81	0,36	15,67	15,67 > 0,06	0,0069	0,000002	3800	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
10,00	9,42	0,58	0,27	0,04	621,78	932,66	0,32	16,24	16,24 > 0,06	0,0069	0,000002	4000	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi

INITIAL DILUTION VERSUS LEE AND CHEUNG (1991)

$$\frac{S_c Q}{ul_b^2} = C_1 \left(\frac{z}{l_b} \right)^{5/3} \quad \text{untuk BDNF dengan } z/l_b \ll 1$$

$$\frac{S_c Q}{ul_b^2} = C_2 \left(\frac{z}{l_b} \right)^2 \quad \text{untuk BDNF dengan } z/l_b \gg 1$$

$$l_b = \frac{B}{U^3} \quad F_o = \frac{U}{\sqrt{g' D}}$$

$$B = g' \times Q \times \frac{\rho_a - \rho_0}{\rho_0}$$

Q = 0,01 m3/s
 C1 = 0,10
 C2 = 0,50
 g' = 0,24 m/s2
 u max = 0,40 m/s
 u rata-rata = 0,25 m/s
 u min = 0,10 m/s

BDNF

ARUS MAKSIMUM = 0,40 m/s

d (m)	z (m)	lb (m)	Syarat Dominasi	Sc	Sm	Fo	BOD (mg/l)	z/D	z/D Vs 0,22Fo	D (m)	Q (m3/s)	S	L (m)	HL (m)	Keterangan		
															BOD	Stabilitas Plume	Hidrolika
1,00	0,60	0,001	931,42	28,99	43,48	1,29	6,90	1,50	1,50 > 0,28	0,40	0,0069	0,000013	400	0,005	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
1,50	1,09	0,001	1090,00	65,22	97,83	1,28	3,07	2,66	2,66 > 0,28	0,41	0,0069	0,000012	600	0,007	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
2,00	1,58	0,001	1580,00	115,94	173,91	1,26	1,73	3,76	3,76 > 0,28	0,42	0,0069	0,000010	800	0,008	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
2,50	2,07	0,001	2070,00	181,16	271,74	1,25	1,10	4,81	4,81 > 0,28	0,43	0,0069	0,000009	1000	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
3,00	2,56	0,001	2560,00	260,87	391,30	1,23	0,77	5,82	5,82 > 0,27	0,44	0,0069	0,000008	1200	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
3,50	3,05	0,001	3050,00	355,07	532,61	1,22	0,56	6,78	6,78 > 0,27	0,45	0,0069	0,000007	1400	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
4,00	3,54	0,001	3540,00	463,77	695,65	1,21	0,43	7,70	7,70 > 0,27	0,46	0,0069	0,000007	1600	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
4,50	4,03	0,001	4030,00	586,96	880,43	1,19	0,34	8,57	8,57 > 0,26	0,47	0,0069	0,000006	1800	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
5,00	4,52	0,001	4520,00	724,64	1086,96	1,18	0,28	9,42	9,42 > 0,26	0,48	0,0069	0,000005	2000	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
5,50	5,01	0,001	5010,00	876,81	1315,22	1,17	0,23	10,22	10,22 > 0,26	0,49	0,0069	0,000005	2200	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
6,00	5,50	0,001	5500,00	1043,48	1565,22	1,16	0,19	11,00	11,00 > 0,26	0,50	0,0069	0,000004	2400	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
6,50	5,99	0,001	5990,00	1224,64	1836,96	1,15	0,16	11,75	11,75 > 0,25	0,51	0,0069	0,000004	2600	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
7,00	6,48	0,001	6480,00	1420,29	2130,43	1,13	0,14	12,46	12,46 > 0,25	0,52	0,0069	0,000004	2800	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
7,50	6,97	0,001	6970,00	1630,43	2445,65	1,12	0,12	13,15	13,15 > 0,25	0,53	0,0069	0,000003	3000	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi

8,00	7,46	0,001	7460,00	1855,07	2782,61	1,11	0,11	13,81	13,81 > 0,24	0,54	0,0069	0,000003	3200	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
8,50	7,95	0,001	7950,00	2094,20	3141,30	1,10	0,10	14,45	14,45 > 0,24	0,55	0,0069	0,000003	3400	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
9,00	8,44	0,001	8440,00	2347,83	3521,74	1,09	0,09	15,07	15,07 > 0,24	0,56	0,0069	0,000003	3600	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
9,50	8,93	0,001	8930,00	2615,94	3923,91	1,08	0,08	15,67	15,67 > 0,24	0,57	0,0069	0,000002	3800	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
10,00	9,42	0,001	9420,00	2898,55	4347,83	1,07	0,07	16,24	16,24 > 0,24	0,58	0,0069	0,000002	4000	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi

ARUS RATA-RATA = 0,25 m/s

d (m)	z (m)	lb (m)	Syarat Dominasi	Sc	Sm	Fo	BOD (mg/l)	z/D	z/D Vs 0,22Fo	D (m)	Q (m ³ /s)	S	L (m)	HL (m)	Keterangan		
															BOD	Stabilitas Plume	Hidrolika
1,00	0,60	0,003	227,40	18,12	27,17	0,81	11,04	1,50	1,50 > 0,19	0,40	0,0069	0,000013	400	0,005	tidak memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
1,50	1,09	0,003	363,33	40,76	61,14	0,80	4,91	2,66	2,66 > 0,18	0,41	0,0069	0,000012	600	0,007	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
2,00	1,58	0,003	526,67	72,46	108,70	0,79	2,76	3,76	3,76 > 0,18	0,42	0,0069	0,000010	800	0,008	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
2,50	2,07	0,003	690,00	113,22	169,84	0,78	1,77	4,81	4,81 > 0,17	0,43	0,0069	0,000009	1000	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
3,00	2,56	0,003	853,33	163,04	244,57	0,77	1,23	5,82	5,82 > 0,17	0,44	0,0069	0,000008	1200	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
3,50	3,05	0,003	1016,67	221,92	332,88	0,76	0,90	6,78	6,78 > 0,17	0,45	0,0069	0,000007	1400	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
4,00	3,54	0,003	1180,00	289,86	434,78	0,75	0,69	7,70	7,70 > 0,17	0,46	0,0069	0,000007	1600	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
4,50	4,03	0,003	1343,33	366,85	550,27	0,75	0,55	8,57	8,57 > 0,17	0,47	0,0069	0,000006	1800	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
5,00	4,52	0,003	1506,67	452,90	679,35	0,74	0,44	9,42	9,42 > 0,16	0,48	0,0069	0,000005	2000	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
5,50	5,01	0,003	1670,00	548,01	822,01	0,73	0,36	10,22	10,22 > 0,16	0,49	0,0069	0,000005	2200	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
6,00	5,50	0,003	1833,33	652,17	978,26	0,72	0,31	11,00	11,00 > 0,16	0,50	0,0069	0,000004	2400	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
6,50	5,99	0,003	1996,67	765,40	1148,10	0,72	0,26	11,75	11,75 > 0,16	0,51	0,0069	0,000004	2600	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
7,00	6,48	0,003	2160,00	887,68	1331,52	0,71	0,23	12,46	12,46 > 0,16	0,52	0,0069	0,000004	2800	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
7,50	6,97	0,003	2323,33	1019,02	1528,53	0,70	0,20	13,15	13,15 > 0,15	0,53	0,0069	0,000003	3000	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
8,00	7,46	0,003	2486,67	1159,42	1739,13	0,70	0,17	13,81	13,81 > 0,15	0,54	0,0069	0,000003	3200	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
8,50	7,95	0,003	2650,00	1308,88	1963,32	0,69	0,15	14,45	14,45 > 0,15	0,55	0,0069	0,000003	3400	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
9,00	8,44	0,003	2813,33	1467,39	2201,09	0,68	0,14	15,07	15,07 > 0,15	0,56	0,0069	0,000003	3600	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
9,50	8,93	0,003	2976,67	1634,96	2452,45	0,68	0,12	15,67	15,67 > 0,15	0,57	0,0069	0,000002	3800	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
10,00	9,42	0,003	3140,00	1811,59	2717,39	0,67	0,11	16,24	16,24 > 0,15	0,58	0,0069	0,000002	4000	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi

ARUS MINIMUM = 0,10 m/s

d (m)	z (m)	lb (m)	Syarat Dominasi	Sc	Sm	Fo	BOD (mg/l)	z/D	z/D Vs 0,22Fo	D (m)	Q (m ³ /s)	S	L (m)	HL (m)	Keterangan		
															BOD	Stabilitas Plume	Hidrolika
1,00	0,60	0,041	14,55	7,25	10,87	0,32	27,60	1,50	1,50 > 0,07	0,40	0,0069	0,000013	400	0,005	tidak memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
1,50	1,09	0,041	26,59	16,30	24,46	0,32	12,27	2,66	2,66 > 0,07	0,41	0,0069	0,000012	600	0,007	tidak memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
2,00	1,58	0,041	38,54	28,99	43,48	0,32	6,90	3,76	3,76 > 0,07	0,42	0,0069	0,000010	800	0,008	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
2,50	2,07	0,041	50,49	45,29	67,93	0,31	4,42	4,81	4,81 > 0,07	0,43	0,0069	0,000009	1000	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
3,00	2,56	0,041	62,44	65,22	97,83	0,31	3,07	5,82	5,82 > 0,07	0,44	0,0069	0,000008	1200	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
3,50	3,05	0,041	74,39	88,77	133,15	0,30	2,25	6,78	6,78 > 0,07	0,45	0,0069	0,000007	1400	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
4,00	3,54	0,041	86,34	115,94	173,91	0,30	1,73	7,70	7,70 > 0,07	0,46	0,0069	0,000007	1600	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
4,50	4,03	0,041	98,29	146,74	220,11	0,30	1,36	8,57	8,57 > 0,07	0,47	0,0069	0,000006	1800	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi

5,00	4,52	0,041	110,24	181,16	271,74	0,30	1,10	9,42	9,42 > 0,07	0,48	0,0069	0,000005	2000	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
5,50	5,01	0,041	122,20	219,20	328,80	0,29	0,91	10,22	10,22 > 0,06	0,49	0,0069	0,000005	2200	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
6,00	5,50	0,041	134,15	260,87	391,30	0,29	0,77	11,00	11,00 > 0,06	0,50	0,0069	0,000004	2400	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
6,50	5,99	0,041	146,10	306,16	459,24	0,29	0,65	11,75	11,75 > 0,06	0,51	0,0069	0,000004	2600	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
7,00	6,48	0,041	158,05	355,07	532,61	0,28	0,56	12,46	12,46 > 0,06	0,52	0,0069	0,000004	2800	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
7,50	6,97	0,041	170,00	407,61	611,41	0,28	0,49	13,15	13,15 > 0,06	0,53	0,0069	0,000003	3000	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
8,00	7,46	0,041	181,95	463,77	695,65	0,28	0,43	13,81	13,81 > 0,06	0,54	0,0069	0,000003	3200	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
8,50	7,95	0,041	193,90	523,55	785,33	0,28	0,38	14,45	14,45 > 0,06	0,55	0,0069	0,000003	3400	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
9,00	8,44	0,041	205,85	586,96	880,43	0,27	0,34	15,07	15,07 > 0,06	0,56	0,0069	0,000003	3600	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
9,50	8,93	0,041	217,80	653,99	980,98	0,27	0,31	15,67	15,67 > 0,06	0,57	0,0069	0,000002	3800	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
10,00	9,42	0,041	229,76	724,64	1086,96	0,27	0,28	16,24	16,24 > 0,06	0,58	0,0069	0,000002	4000	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi

INITIAL DILUTION HORIZONTAL VERSUS LEE AND NEVILLE - JONES, 1987

$$S_m = 0,31 \frac{J^{1/3} z^{5/3}}{Q} \quad \text{untuk} \quad \frac{zU^3}{J} < 5 \quad \text{dan} \quad S_m = 0,32 \frac{Uz^2}{Q} \quad \text{untuk} \quad \frac{zU^3}{J} > 5$$

$$J = \frac{Ug'\pi D^2}{4} \quad F_o = \frac{U}{\sqrt{g'D}}$$

Q = 0,01 m³/s
C1 = 0,10
C2 = 0,50
g' = 0,24 m/s²
u max = 0,40 m/s
u rata-rata = 0,25 m/s
u min = 0,10 m/s

ARUS MAKSIMUM = 0,40 m/s

d (m)	z (m)	D (m)	J	Syarat Dominasi	Sc	Sm	Fo	BOD (mg/l)	z/D	z/D Vs 0,22Fo	Q (m ³ /s)	S	L (m)	HL (m)	Keterangan		
															BOD	Stabilitas Plume	Hidrolika
1,00	0,60	0,40	0,01	3,20	8,35	12,52	1,29	23,96	1,50	1,50 > 0,28	0,0069	0,000013	400	0,005	tidak memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
1,50	1,09	0,41	0,01	5,53	27,55	41,33	1,28	7,26	2,66	2,66 > 0,28	0,0069	0,000012	600	0,007	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
2,00	1,58	0,42	0,01	7,64	57,89	86,83	1,26	3,45	3,76	3,76 > 0,28	0,0069	0,000010	800	0,008	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
2,50	2,07	0,43	0,01	9,55	99,36	149,04	1,25	2,01	4,81	4,81 > 0,28	0,0069	0,000009	1000	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
3,00	2,56	0,44	0,01	11,28	151,97	227,95	1,23	1,32	5,82	5,82 > 0,27	0,0069	0,000008	1200	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
3,50	3,05	0,45	0,02	12,84	215,71	323,57	1,22	0,93	6,78	6,78 > 0,27	0,0069	0,000007	1400	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
4,00	3,54	0,46	0,02	11,33	290,59	435,88	1,21	0,69	7,70	7,70 > 0,27	0,0069	0,000007	1600	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
4,50	4,03	0,47	0,02	12,90	376,60	564,90	1,19	0,53	8,57	8,57 > 0,26	0,0069	0,000006	1800	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
5,00	4,52	0,48	0,02	14,46	473,75	710,62	1,18	0,42	9,42	9,42 > 0,26	0,0069	0,000005	2000	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
5,50	5,01	0,49	0,02	16,03	582,03	873,05	1,17	0,34	10,22	10,22 > 0,26	0,0069	0,000005	2200	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
6,00	5,50	0,50	0,02	17,60	701,45	1052,17	1,16	0,29	11,00	11,00 > 0,26	0,0069	0,000004	2400	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
6,50	5,99	0,51	0,02	19,17	832,00	1248,00	1,15	0,24	11,75	11,75 > 0,25	0,0069	0,000004	2600	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
7,00	6,48	0,52	0,02	20,74	973,69	1460,54	1,13	0,21	12,46	12,46 > 0,25	0,0069	0,000004	2800	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
7,50	6,97	0,53	0,02	22,30	1126,51	1689,77	1,12	0,18	13,15	13,15 > 0,25	0,0069	0,000003	3000	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
8,00	7,46	0,54	0,02	23,87	1290,47	1935,71	1,11	0,15	13,81	13,81 > 0,24	0,0069	0,000003	3200	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
8,50	7,95	0,55	0,02	25,44	1465,57	2198,35	1,10	0,14	14,45	14,45 > 0,24	0,0069	0,000003	3400	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
9,00	8,44	0,56	0,02	22,95	1651,79	2477,69	1,09	0,12	15,07	15,07 > 0,24	0,0069	0,000003	3600	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
9,50	8,93	0,57	0,02	23,44	1849,16	2773,74	1,08	0,11	15,67	15,67 > 0,24	0,0069	0,000002	3800	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
10,00	9,42	0,58	0,03	23,88	2057,66	3086,48	1,07	0,10	16,24	16,24 > 0,24	0,0069	0,000002	4000	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi

ARUS RATA-RATA = 0,25 m/s

d (m)	z (m)	D (m)	J	Syarat Dominasi	Sc	Sm	Fo	BOD (mg/l)	z/D	z/D Vs 0,22Fo	Q (m ³ /s)	S	L (m)	HL (m)	Keterangan		
															BOD	Stabilitas Plume	Hidrolika
1,00	0,60	0,40	0,01	1,25	5,22	7,83	0,81	38,33	1,50	1,50 > 0,19	0,0069	0,000013	400	0,005	tidak memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
1,50	1,09	0,41	0,01	2,16	17,22	25,83	0,80	11,62	2,66	2,66 > 0,18	0,0069	0,000012	600	0,007	tidak memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi

2,50	2,07	0,43	0,01	3,73	62,10	93,15	0,78	3,22	4,81	4,81 > 0,17	0,0069	0,000009	1000	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
3,00	2,56	0,44	0,01	4,41	94,98	142,47	0,77	2,11	5,82	5,82 > 0,17	0,0069	0,000008	1200	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
3,50	3,05	0,45	0,01	5,02	134,82	202,23	0,76	1,48	6,78	6,78 > 0,17	0,0069	0,000007	1400	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
4,00	3,54	0,46	0,01	5,57	181,62	272,43	0,75	1,10	7,70	7,70 > 0,17	0,0069	0,000007	1600	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
4,50	4,03	0,47	0,01	6,08	235,38	353,06	0,75	0,85	8,57	8,57 > 0,17	0,0069	0,000006	1800	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
5,00	4,52	0,48	0,01	6,54	296,09	444,14	0,74	0,68	9,42	9,42 > 0,16	0,0069	0,000005	2000	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
5,50	5,01	0,49	0,01	6,95	363,77	545,65	0,73	0,55	10,22	10,22 > 0,16	0,0069	0,000005	2200	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
6,00	5,50	0,50	0,01	7,33	438,41	657,61	0,72	0,46	11,00	11,00 > 0,16	0,0069	0,000004	2400	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
6,50	5,99	0,51	0,01	7,67	520,00	780,00	0,72	0,38	11,75	11,75 > 0,16	0,0069	0,000004	2600	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
7,00	6,48	0,52	0,01	7,98	608,56	912,83	0,71	0,33	12,46	12,46 > 0,16	0,0069	0,000004	2800	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
7,50	6,97	0,53	0,01	8,27	704,07	1056,11	0,70	0,28	13,15	13,15 > 0,15	0,0069	0,000003	3000	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
8,00	7,46	0,54	0,01	8,52	806,54	1209,82	0,70	0,25	13,81	13,81 > 0,15	0,0069	0,000003	3200	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
8,50	7,95	0,55	0,01	8,75	915,98	1373,97	0,69	0,22	14,45	14,45 > 0,15	0,0069	0,000003	3400	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
9,00	8,44	0,56	0,01	8,97	1032,37	1548,56	0,68	0,19	15,07	15,07 > 0,15	0,0069	0,000003	3600	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
9,50	8,93	0,57	0,02	9,16	1155,72	1733,58	0,68	0,17	15,67	15,67 > 0,15	0,0069	0,000002	3800	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
10,00	9,42	0,58	0,02	9,33	1286,03	1929,05	0,67	0,16	16,24	16,24 > 0,15	0,0069	0,000002	4000	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi

ARUS MINIMUM = 0,10 m/s

d (m)	z (m)	D (m)	J	Syarat Dominasi	Sc	Sm	Fo	BOD (mg/l)	z/D	z/D Vs 0,22Fo	Q (m ³ /s)	S	L (m)	HL (m)	Keterangan		
															BOD	Stabilitas Plume	Hidrolika
1,00	0,60	0,40	0,003	0,20	2,41	3,61	0,32	83,01	1,50	1,50 > 0,28	0,0069	0,000013	400	0,005	tidak memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
1,50	1,09	0,41	0,003	0,35	6,62	9,94	0,32	30,19	2,66	2,66 > 0,28	0,0069	0,000012	600	0,007	tidak memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
2,00	1,58	0,42	0,003	0,53	12,10	18,14	0,32	16,53	3,76	3,76 > 0,28	0,0069	0,000010	800	0,008	tidak memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
2,50	2,07	0,43	0,003	0,60	19,92	29,87	0,31	10,04	4,81	4,81 > 0,28	0,0069	0,000009	1000	0,009	tidak memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
3,00	2,56	0,44	0,004	0,70	28,82	43,22	0,31	6,94	5,82	5,82 > 0,28	0,0069	0,000008	1200	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
3,50	3,05	0,45	0,004	0,80	39,17	58,75	0,30	5,11	6,78	6,78 > 0,28	0,0069	0,000007	1400	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
4,00	3,54	0,46	0,004	0,89	50,95	76,42	0,30	3,93	7,70	7,70 > 0,28	0,0069	0,000007	1600	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
4,50	4,03	0,47	0,004	1,01	94,15	141,23	0,30	2,12	8,57	8,57 > 0,28	0,0069	0,000006	1800	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
5,00	4,52	0,48	0,004	1,05	118,44	177,66	0,30	1,69	9,42	9,42 > 0,28	0,0069	0,000005	2000	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
5,50	5,01	0,49	0,005	1,11	145,51	218,26	0,29	1,37	10,22	10,22 > 0,28	0,0069	0,000005	2200	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
6,00	5,50	0,50	0,005	1,17	175,36	263,04	0,29	1,14	11,00	11,00 > 0,28	0,0069	0,000004	2400	0,011	memenuhi	memenuhi	memenuhi
6,50	5,99	0,51	0,005	1,20	208,00	312,00	0,29	0,96	11,75	11,75 > 0,28	0,0069	0,000004	2600	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
7,00	6,48	0,52	0,005	1,30	243,42	365,13	0,28	0,82	12,46	12,46 > 0,28	0,0069	0,000004	2800	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
7,50	6,97	0,53	0,005	1,32	281,63	422,44	0,28	0,71	13,15	13,15 > 0,28	0,0069	0,000003	3000	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
8,00	7,46	0,54	0,005	1,36	322,62	483,93	0,28	0,62	13,81	13,81 > 0,28	0,0069	0,000003	3200	0,010	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
8,50	7,95	0,55	0,006	1,40	366,39	549,59	0,28	0,55	14,45	14,45 > 0,28	0,0069	0,000003	3400	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
9,00	8,44	0,56	0,006	1,41	412,95	619,42	0,27	0,48	15,07	15,07 > 0,28	0,0069	0,000003	3600	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
9,50	8,93	0,57	0,006	1,49	462,29	693,43	0,27	0,43	15,67	15,67 > 0,28	0,0069	0,000002	3800	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi
10,00	9,42	0,58	0,006	1,49	514,41	771,62	0,27	0,39	16,24	16,24 > 0,28	0,0069	0,000002	4000	0,009	memenuhi	memenuhi	tidak memenuhi





LAMPIRAN C
PERHITUNGAN *COLIFORM*

RHITUNGAN PANENTUAN COLIFORM DAN BACTERIAL DECAY

$$= \frac{1}{\operatorname{erf} \left[\sqrt{\frac{1,5}{\left(1 + 8 \frac{kx}{ub^2}\right)^3 - 1}} \right]}$$

$$\operatorname{erf}(\eta) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\eta} e^{-v^2} dv$$

$$\operatorname{coliform} = \frac{\operatorname{initialcol} \operatorname{iform}}{S_c \times S_b}$$

$$k = \alpha b^3$$

$$S_b = S_f \cdot e^{-k_b t}$$

etahui

$\alpha = 0,000001 \text{ m}^2/3/\text{s}$
 $b = 1,33 \text{ m}$
 $x = 2240 \text{ m}$
 $u \text{ max} = 0,4 \text{ m/s}$
 $\text{rata-rata} = 0,25 \text{ m/s}$
 $u \text{ min} = 0,1 \text{ m/s}$

a

$k = 0,0000024$
 $Sf \text{ u max} = 343,64$
 $Sf \text{ u rata2} = 698,23$
 $Sf \text{ u min} = 274,73$
 $t \text{ u max} = 5600$
 $t \text{ u rata2} = 8960,00$
 $t \text{ u min} = 22400,00$
 $\text{detik} = 1,6 \text{ jam}$
 $\text{detik} = 2,5 \text{ jam}$
 $\text{detik} = 6,2 \text{ jam}$

gan demikian besarnya coliform ditentukan pada tabel berikut:

tial dilution menurut Mukhtasor, et all (2002)

ax

d (m)	z (m)	D (m)	Sm	Sf	Sb	Stotal	Coliform (MPN/100ml)	Keterangan
4,00	3,54	0,46	512,48	343,64	309,28	158497,91	315,46	memenuhi
4,50	4,03	0,47	663,60	343,64	309,28	205236,55	243,62	memenuhi
5,00	4,52	0,48	834,18	343,64	309,28	257990,45	193,81	memenuhi
5,50	5,01	0,49	1024,19	343,64	309,28	316757	157,85	memenuhi
6,00	5,50	0,50	1233,64	343,64	309,28	381533,94	131,05	memenuhi

ta-rata

d (m)	z (m)	D (m)	Sm	Sf	Sb	Stotal	Coliform (MPN/100ml)	Keterangan
4,00	3,54	0,46	512,48	698,23	523,68	268373,47	186,31	memenuhi
4,50	4,03	0,47	663,60	698,23	523,68	347512,74	143,88	memenuhi
5,00	4,52	0,48	834,18	698,23	523,68	436837,25	114,46	memenuhi
5,50	5,01	0,49	1024,19	698,23	523,68	536342,56	93,22	memenuhi
6,00	5,50	0,50	1233,64	698,23	523,68	646024,84	77,40	memenuhi

in

d (m)	z (m)	D (m)	Sm	Sf	Sb	Stotal	Coliform (MPN/100ml)	Keterangan
4,00	3,54	0,46	512,48	274,73	123,63	63357,19	789,18	memenuhi
4,50	4,03	0,47	663,60	274,73	123,63	82040,27	609,46	memenuhi
5,00	4,52	0,48	834,18	274,73	123,63	103127,86	484,84	memenuhi
5,50	5,01	0,49	1024,19	274,73	123,63	126618,92	394,89	memenuhi
6,00	5,50	0,50	1233,64	274,73	123,63	152512,54	327,84	memenuhi

tial dilution menurut Lee and Cheung (1991)

max

d (m)	z (m)	D (m)	Sm	Sf	Sb	Stotal	Coliform (MPN/100ml)	Keterangan
4,00	3,54	0,46	512,48	343,64	309,28	158497,91	315,46	memenuhi
4,50	4,03	0,47	663,60	343,64	309,28	205236,55	243,62	memenuhi
5,00	4,52	0,48	834,18	343,64	309,28	257990,45	193,81	memenuhi
5,50	5,01	0,49	1024,19	343,64	309,28	316757,00	157,85	memenuhi
6,00	5,50	0,50	1233,64	343,64	309,28	381533,94	131,05	memenuhi

rata-rata

d (m)	z (m)	D (m)	Sm	Sf	Sb	Stotal	Coliform (MPN/100ml)	Keterangan
4,00	3,54	0,46	512,48	698,23	523,68	268373,47	186,31	memenuhi
4,50	4,03	0,47	663,60	698,23	523,68	347512,74	143,88	memenuhi
5,00	4,52	0,48	834,18	698,23	523,68	436837,25	114,46	memenuhi
5,50	5,01	0,49	1024,19	698,23	523,68	536342,56	93,22	memenuhi
6,00	5,50	0,50	1233,64	698,23	523,68	646024,84	77,40	memenuhi

min

d (m)	z (m)	D (m)	Sm	Sf	Sb	Stotal	Coliform (MPN/100ml)	Keterangan
4,00	3,54	0,46	512,48	274,73	123,63	63357,19	789,18	memenuhi
4,50	4,03	0,47	663,60	274,73	123,63	82040,27	609,46	memenuhi
5,00	4,52	0,48	834,18	274,73	123,63	103127,86	484,84	memenuhi
5,50	5,01	0,49	1024,19	274,73	123,63	126618,92	394,89	memenuhi
6,00	5,50	0,50	1233,64	274,73	123,63	152512,54	327,84	memenuhi

initial dilution menurut Neville and Jones (1977)

max

d (m)	z (m)	D (m)	Sm	Sf	Sb	Stotal	Coliform (MPN/100ml)	Keterangan
4,00	3,54	0,46	512,48	343,64	309,28	158497,91	315,46	memenuhi
4,50	4,03	0,47	663,60	343,64	309,28	205236,55	243,62	memenuhi
5,00	4,52	0,48	834,18	343,64	309,28	257990,45	193,81	memenuhi
5,50	5,01	0,49	1024,19	343,64	309,28	316757,00	157,85	memenuhi
6,00	5,50	0,50	1233,64	343,64	309,28	381533,94	131,05	memenuhi

rata-rata

d (m)	z (m)	D (m)	Sm	Sf	Sb	Stotal	Coliform (MPN/100ml)	Keterangan
4,00	3,54	0,46	512,48	698,23	523,68	268373,47	186,31	memenuhi
4,50	4,03	0,47	663,60	698,23	523,68	347512,74	143,88	memenuhi
5,00	4,52	0,48	834,18	698,23	523,68	436837,25	114,46	memenuhi
5,50	5,01	0,49	1024,19	698,23	523,68	536342,56	93,22	memenuhi
6,00	5,50	0,50	1233,64	698,23	523,68	646024,84	77,40	memenuhi

min

d (m)	z (m)	D (m)	Sm	Sf	Sb	Stotal	Coliform (MPN/100ml)	Keterangan
4,00	3,54	0,46	512,48	274,73	123,63	63357,19	789,18	memenuhi
4,50	4,03	0,47	663,60	274,73	123,63	82040,27	609,46	memenuhi
5,00	4,52	0,48	834,18	274,73	123,63	103127,86	484,84	memenuhi
5,50	5,01	0,49	1024,19	274,73	123,63	126618,92	394,89	memenuhi
6,00	5,50	0,50	1233,64	274,73	123,63	152512,54	327,84	memenuhi



LAMPIRAN D
ANALISA STABILITAS PIPA

STABILITAS PIPA BAWAH LAUT - TEORI GELOMBANG STOKES ORDE 2

SKENARIO B1-A

$$\begin{aligned}\text{kedalaman} &= 4,00 \text{ m} \\ \text{HWL} &= 1,76 \text{ m} \\ T &= 6,60 \text{ s} \\ H &= 0,70 \text{ m} \\ d &= 5,76 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\frac{d}{T^2} = 0,132$$

$$\frac{H}{T^2} = 0,016$$

Berdasarkan grafik Region of Validity (Chakrabarti, 1987) maka digunakan teori gelombang STOKES ORDE 2

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = 68,045 \text{ m}$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right)$$

$$L = 33,11 \text{ m}$$

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right)$$

$$C = 5,02 \text{ m/s} \quad k = 0,189665$$

Kecepatan partikel air

$$U = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta$$

pada $Y_o = 1$ meter dari seabed maka $z = -7,76 \text{ m}$
kecepatan maksimal pada saat $t = 0$, maka

$$U_{\max} = 0,46 \text{ m/s}$$

$$U_e^2 = 0,778 U_o^2 \left(\frac{D}{Y_o} \right)^{0,286}$$

$$U_e = 0,37 \text{ m/s}$$

Angka Reynold

$$R_e = \frac{U_e D}{\nu}$$

$$Re = 17170,29 \quad D = 0,46 \text{ m}$$

Sehingga koefisien hidrodinamikanya:

$$\begin{aligned} C_d &= 1,47 \\ C_L &= 1,17 \\ C_i &= 2,00 \end{aligned}$$

Gaya-gaya hidrodinamis

$$\begin{aligned} F_d &= 48,38 \text{ kg/m} \\ F_l &= 38,29 \text{ kg/m} \\ F_i &= 0,00 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Berat submerged dari pipa yang disyaratkan:

$$W = 135,04 \text{ kg/m}$$

SYARAT STABILITAS LATERAL

$$\begin{aligned} S (F_d + F_i) &\leq \mu (W_s - F_l) \\ 53,21 &\leq 58,05 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

SYARAT STABILITAS VERTIKAL

Syarat 1

SG float \leq SG pipa

$$\text{SG float} = \rho_{\text{air laut}} / \rho_{\text{air murni}} = 1025/1000 = 1,025$$

SG pipa = $\rho_{\text{pipa}} / \rho_{\text{air murni}}$

$$\rho_{\text{pipa}} = 12525,42$$

$$\text{SG pipa} = 12,52542$$

$$1,025 \leq 12,53 \quad (\text{memenuhi})$$

Syarat 2

SG pipa \leq SG sink

$$\text{SG sink} = SG_{\text{soil}} + \frac{2C}{\rho_{\text{air}} D}$$

$$\text{SG soil} = \frac{\gamma_d (1 + e)}{\gamma_w}$$

$$\text{SG soil} = 26,53659$$

$$\text{SG sink} = 33,67944$$

$$12,53 \leq 33,68 \quad (\text{memenuhi})$$

STABILITAS PIPA BAWAH LAUT - TEORI GELOMBANG STOKES ORDE 2

SKENARIO B1-B

kedalaman =	4,00 m
HWL =	1,76 m
T =	6,60 s
H =	0,70 m
d =	5,76 m

$$\frac{d}{T^2} = 0,132$$

$$\frac{H}{T^2} = 0,016$$

Berdasarkan grafik Region of Validity (Chakrabarti, 1987) maka digunakan teori gelombang STOKES ORDE 2

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = 68,045 \text{ m}$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right)$$

$$L = 33,11 \text{ m}$$

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right)$$

$$C = 5,02 \text{ m/s} \quad k = 0,189665$$

Kecepatan partikel air

$$U = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta$$

pada $Y_o = 1$ meter dari seabed maka $z = -7,76 \text{ m}$
kecepatan maksimal pada saat $t = 0$, maka

$$U_{\max} = 0,46 \text{ m/s}$$

$$U_e^2 = 0,778 U_o^2 \left(\frac{D}{Y_o} \right)^{0,286}$$

$$U_e = 0,37 \text{ m/s}$$

Angka Reynold

$$R_e = \frac{U_e D}{\nu}$$

$$Re = 17916,83 \quad D = 0,48 \text{ m}$$

Sehingga koefisien hidrodinamikanya:

$$\begin{aligned} C_d &= 1,47 \\ C_L &= 1,16 \\ C_i &= 2,00 \end{aligned}$$

Gaya-gaya hidrodinamis

$$\begin{aligned} F_d &= 50,39 \text{ kg/m} \\ F_l &= 39,90 \text{ kg/m} \\ F_i &= 0,00 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Berat submerged dari pipa yang disyaratkan:

$$W = 140,69 \text{ kg/m}$$

SYARAT STABILITAS LATERAL

$$\begin{aligned} S (F_d + F_i) &\leq \mu (W_s - F_l) \\ 55,43 &\leq 60,47215 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

SYARAT STABILITAS VERIKAL

Syarat 1

SG float \leq SG pipa

$$\text{SG float} = \rho_{\text{air laut}} / \rho_{\text{air murni}} = 1025/1000 = 1,025$$

SG pipa = $\rho_{\text{pipa}} / \rho_{\text{air murni}}$

$$\rho_{\text{pipa}} = 11936,33$$

$$\text{SG pipa} = 11,93633$$

$$1,025 \leq 11,94 \quad \text{(memenuhi)}$$

Syarat 2

SG pipa \leq SG sink

$$\text{SG sink} = SG_{\text{soil}} + \frac{2C}{\rho_{\text{air}} D}$$

$$\text{SG soil} = \frac{\gamma_d (1 + e)}{\gamma_w}$$

$$\text{SG soil} = 26,53659$$

$$\text{SG sink} = 33,67944$$

$$11,94 \leq 33,68 \quad \text{(memenuhi)}$$

STABILITAS PIPA BAWAH LAUT - TEORI GELOMBANG STOKES ORDE 2

SKENARIO B1-C

kedalaman =	4,00 m
HWL =	1,76 m
T =	6,60 s
H =	0,70 m
d =	5,76 m

$$\frac{d}{T^2} = 0,132$$

$$\frac{H}{T^2} = 0,016$$

Berdasarkan grafik Region of Validity (Chakrabarti, 1987) maka digunakan teori gelombang STOKES ORDE 2

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = 68,045 \text{ m}$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right)$$

$$L = 33,11 \text{ m}$$

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right)$$

$$C = 5,02 \text{ m/s} \quad k = 0,189665$$

Kecepatan partikel air

$$U = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta$$

pada $Y_o = 1$ meter dari seabed maka $z = -7,76 \text{ m}$
kecepatan maksimal pada saat $t = 0$, maka

$$U_{\max} = 0,46 \text{ m/s}$$

$$U_e^2 = 0,778 U_o^2 \left(\frac{D}{Y_o} \right)^{0,286}$$

$$U_e = 0,37 \text{ m/s}$$

Angka Reynold

$$R_e = \frac{U_e D}{\nu}$$

$$Re = 18663,36 \quad D = 0,5 \text{ m}$$

Sehingga koefisien hidrodinamikanya:

$$\begin{aligned} C_d &= 1,47 \\ C_L &= 1,16 \\ C_i &= 2,00 \end{aligned}$$

Gaya-gaya hidrodinamis

$$\begin{aligned} F_d &= 52,40 \text{ kg/m} \\ F_l &= 41,51 \text{ kg/m} \\ F_i &= 0,00 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Berat submerged dari pipa yang disyaratkan:

$$W = 146,32 \text{ kg/m}$$

SYARAT STABILITAS LATERAL

$$\begin{aligned} S (F_d + F_i) &\leq \mu (W_s - F_l) \\ 57,64 &\leq 62,88521 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

SYARAT STABILITAS VERIKAL

Syarat 1

SG float \leq SG pipa

$$\text{SG float} = \rho_{\text{air laut}} / \rho_{\text{air murni}} = 1025/1000 = 1,025$$

SG pipa = $\rho_{\text{pipa}} / \rho_{\text{air murni}}$

$$\rho_{\text{pipa}} = 11400,26$$

$$\text{SG pipa} = 11,40026$$

$$1,025 \leq 11,4 \quad \text{(memenuhi)}$$

Syarat 2

SG pipa \leq SG sink

$$\text{SG sink} = SG_{\text{soil}} + \frac{2C}{\rho_{\text{air}} D}$$

$$\text{SG soil} = \frac{\gamma_d (1 + e)}{\gamma_w}$$

$$\text{SG soil} = 26,53659$$

$$\text{SG sink} = 33,67944$$

$$11,4 \leq 33,68 \quad \text{(memenuhi)}$$

STABILITAS PIPA BAWAH LAUT - TEORI GELOMBANG STOKES ORDE 2

SKENARIO B2-A

kedalaman =	5,00 m
HWL =	1,76 m
T =	6,60 s
H =	0,70 m
d =	6,76 m

$$\frac{d}{T^2} = 0,155$$

$$\frac{H}{T^2} = 0,016$$

Berdasarkan grafik Region of Validity (Chakrabarti, 1987) maka digunakan teori gelombang STOKES ORDE 2

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = 68,045 \text{ m}$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right)$$

$$L = 37,69 \text{ m}$$

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right)$$

$$C = 5,71 \text{ m/s} \quad k = 0,166642$$

Kecepatan partikel air

$$U = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta$$

pada $Y_o = 1$ meter dari seabed maka $z = -7,76 \text{ m}$
kecepatan maksimal pada saat $t = 0$, maka

$$U_{\max} = 0,46 \text{ m/s}$$

$$U_e^2 = 0,778 U_o^2 \left(\frac{D}{Y_o} \right)^{0,286}$$

$$U_e = 0,37 \text{ m/s}$$

Angka Reynold

$$R_e = \frac{U_e D}{\nu}$$

$$Re = 17170,29 \quad D = 0,46 \text{ m}$$

Sehingga koefisien hidrodinamikanya:

$$\begin{aligned} C_d &= 1,47 \\ C_L &= 1,17 \\ C_i &= 2,00 \end{aligned}$$

Gaya-gaya hidrodinamis

$$\begin{aligned} F_d &= 48,38 \text{ kg/m} \\ F_l &= 38,29 \text{ kg/m} \\ F_i &= 0,00 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Berat submerged dari pipa yang disyaratkan:

$$W = 135,04 \text{ kg/m}$$

SYARAT STABILITAS LATERAL

$$\begin{aligned} S (F_d + F_i) &\leq \mu (W_s - F_l) \\ 53,21 &\leq 58,05056 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

SYARAT STABILITAS VERIKAL

Syarat 1

SG float \leq SG pipa

$$\text{SG float} = \rho_{\text{air laut}} / \rho_{\text{air murni}} = 1025 / 1000 = 1,025$$

SG pipa = $\rho_{\text{pipa}} / \rho_{\text{air murni}}$

$$\rho_{\text{pipa}} = 12525,42$$

$$\text{SG pipa} = 12,52542$$

$$1,025 \leq 12,53 \quad \text{(memenuhi)}$$

Syarat 2

SG pipa \leq SG sink

$$\text{SG sink} = SG_{\text{soil}} + \frac{2C}{\rho_{\text{air}} D}$$

$$\text{SG soil} = \frac{\gamma_d (1 + e)}{\gamma_w}$$

$$\text{SG soil} = 26,53659$$

$$\text{SG sink} = 33,67944$$

$$12,53 \leq 33,68 \quad \text{(memenuhi)}$$

STABILITAS PIPA BAWAH LAUT - TEORI GELOMBANG STOKES ORDE 2

SKENARIO B2-B

kedalaman =	5,00 m
HWL =	1,76 m
T =	6,60 s
H =	0,70 m
d =	6,76 m

$$\frac{d}{T^2} = 0,155$$

$$\frac{H}{T^2} = 0,016$$

Berdasarkan grafik Region of Validity (Chakrabarti, 1987) maka digunakan teori gelombang STOKES ORDE 2

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = 68,045 \text{ m}$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right)$$

$$L = 37,69 \text{ m}$$

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right)$$

$$C = 5,71 \text{ m/s} \quad k = 0,166642$$

Kecepatan partikel air

$$U = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta$$

pada $Y_o = 1$ meter dari seabed maka $z = -7,76 \text{ m}$
kecepatan maksimal pada saat $t = 0$, maka

$$U_{\max} = 0,46 \text{ m/s}$$

$$U_e^2 = 0,778 U_0^2 \left(\frac{D}{Y_o} \right)^{0,286}$$

$$U_e = 0,37 \text{ m/s}$$

Angka Reynold

$$R_e = \frac{U_e D}{\nu}$$

$$Re = 17916,83 \quad D = 0,48 \text{ m}$$

Sehingga koefisien hidrodinamikanya:

$$\begin{aligned} C_d &= 1,47 \\ C_L &= 1,16 \\ C_i &= 2,00 \end{aligned}$$

Gaya-gaya hidrodinamis

$$\begin{aligned} F_d &= 50,39 \text{ kg/m} \\ F_l &= 39,90 \text{ kg/m} \\ F_i &= 0,00 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Berat submerged dari pipa yang disyaratkan:

$$W = 140,69 \text{ kg/m}$$

SYARAT STABILITAS LATERAL

$$\begin{aligned} S (F_d + F_i) &\leq \mu (W_s - F_l) \\ 55,43 &\leq 60,47215 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

SYARAT STABILITAS VERTIKAL

Syarat 1

$$SG_{float} \leq SG_{pipa}$$

$$SG_{float} = \rho_{air \text{ laut}} / \rho_{air \text{ murni}} = 1025/1000 = 1,025$$

$$SG_{pipa} = \rho_{pipa} / \rho_{air \text{ murni}}$$

$$\rho_{pipa} = 11936,33$$

$$SG_{pipa} = 11,93633$$

$$1,025 \leq 11,94 \quad \text{(memenuhi)}$$

Syarat 2

$$SG_{pipa} \leq SG_{sink}$$

$$SG_{sink} = SG_{soil} + \frac{2C}{\rho_{air} D}$$

$$SG_{soil} = \frac{\gamma_d (1 + e)}{\gamma_w}$$

$$SG_{soil} = 26,53659$$

$$SG_{sink} = 33,67944$$

$$11,94 \leq 33,68 \quad \text{(memenuhi)}$$

STABILITAS PIPA BAWAH LAUT - TEORI GELOMBANG STOKES ORDE 2

SKENARIO B2-C

kedalaman =	5,00 m
HWL =	1,76 m
T =	6,60 s
H =	0,70 m
d =	6,76 m

$$\frac{d}{T^2} = 0,155$$

$$\frac{H}{T^2} = 0,016$$

Berdasarkan grafik Region of Validity (Chakrabarti, 1987) maka digunakan teori gelombang STOKES ORDE 2

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = 68,045 \text{ m}$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right)$$

$$L = 37,69 \text{ m}$$

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right)$$

$$C = 5,71 \text{ m/s} \quad k = 0,166642$$

Kecepatan partikel air

$$U = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta$$

pada $Y_o = 1$ meter dari seabed maka $z = -7,76 \text{ m}$
kecepatan maksimal pada saat $t = 0$, maka

$$U_{\max} = 0,46 \text{ m/s}$$

$$U_e^2 = 0,778 U_o^2 \left(\frac{D}{Y_o} \right)^{0,286}$$

$$U_e = 0,37 \text{ m/s}$$

Angka Reynold

$$R_e = \frac{U_e D}{\nu}$$

$$Re = 18663,36 \quad D = 0,5 \text{ m}$$

Sehingga koefisien hidrodinamikanya:

$$\begin{aligned} C_d &= 1,47 \\ C_L &= 1,16 \\ C_i &= 2,00 \end{aligned}$$

Gaya-gaya hidrodinamis

$$\begin{aligned} F_d &= 52,40 \text{ kg/m} \\ F_l &= 41,51 \text{ kg/m} \\ F_i &= 0,00 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Berat submerged dari pipa yang disyaratkan:

$$W = 146,32 \text{ kg/m}$$

SYARAT STABILITAS LATERAL

$$\begin{aligned} S (F_d + F_i) &\leq \mu (W_s - F_l) \\ 57,64 &\leq 62,88521 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

SYARAT STABILITAS VERTIKAL

Syarat 1

$SG_{float} \leq SG_{pipa}$

$$SG_{float} = \rho_{air \text{ laut}} / \rho_{air \text{ murni}} = 1025/1000 = 1,025$$

$SG_{pipa} = \rho_{pipa} / \rho_{air \text{ murni}}$

$$\rho_{pipa} = 11400,26$$

$$SG_{pipa} = 11,40026$$

$$1,025 \leq 11,4 \quad \text{(memenuhi)}$$

Syarat 2

$SG_{pipa} \leq SG_{sink}$

$$SG_{sink} = SG_{soil} + \frac{2C}{\rho_{air} D}$$

$$SG_{soil} = \frac{\gamma_d (1 + e)}{\gamma_w}$$

$$SG_{soil} = 26,53659$$

$$SG_{sink} = 33,67944$$

$$11,4 \leq 33,68 \quad \text{(memenuhi)}$$

STABILITAS PIPA BAWAH LAUT - TEORI GELOMBANG STOKES ORDE 2

SKENARIO B3-A

kedalaman =	6,00 m
HWL =	1,76 m
T =	6,60 s
H =	0,70 m
d =	7,76 m

$$\frac{d}{T^2} = 0,178$$

$$\frac{H}{T^2} = 0,016$$

Berdasarkan grafik Region of Validity (Chakrabarti, 1987) maka digunakan teori gelombang STOKES ORDE 2

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = 68,045 \text{ m}$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right)$$

$$L = 41,82 \text{ m}$$

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right)$$

$$C = 6,34 \text{ m/s} \quad k = 0,15018$$

Kecepatan partikel air

$$U = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta$$

pada $Y_o = 1$ meter dari seabed maka $z = -7,76 \text{ m}$
kecepatan maksimal pada saat $t = 0$, maka

$$U_{\max} = 0,46 \text{ m/s}$$

$$U_e^2 = 0,778 U_0^2 \left(\frac{D}{Y_o} \right)^{0,286}$$

$$U_e = 0,37 \text{ m/s}$$

Angka Reynold

$$R_e = \frac{U_e D}{\nu}$$

$$Re = 17170,29 \quad D = 0,46 \text{ m}$$

Sehingga koefisien hidrodinamikanya:

$$\begin{aligned} C_d &= 1,47 \\ C_L &= 1,17 \\ C_i &= 2,00 \end{aligned}$$

Gaya-gaya hidrodinamis

$$\begin{aligned} F_d &= 48,38 \text{ kg/m} \\ F_l &= 38,29 \text{ kg/m} \\ F_i &= 0,00 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Berat submerged dari pipa yang disyaratkan:

$$W = 135,04 \text{ kg/m}$$

SYARAT STABILITAS LATERAL

$$\begin{aligned} S (F_d + F_i) &\leq \mu (W_s - F_l) \\ 53,21 &\leq 58,05056 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

SYARAT STABILITAS VERTIKAL

Syarat 1

SG float \leq SG pipa

$$\text{SG float} = \rho_{\text{air laut}} / \rho_{\text{air murni}} = 1025/1000 = 1,025$$

SG pipa = $\rho_{\text{pipa}} / \rho_{\text{air murni}}$

$$\rho_{\text{pipa}} = 12525,42$$

$$\text{SG pipa} = 12,52542$$

$$1,025 \leq 12,53 \quad \text{(memenuhi)}$$

Syarat 2

SG pipa \leq SG sink

$$\text{SG sink} = SG_{\text{soil}} + \frac{2C}{\rho_{\text{air}} D}$$

$$\text{SG soil} = \frac{\gamma_d (1 + e)}{\gamma_w}$$

$$\text{SG soil} = 26,53659$$

$$\text{SG sink} = 33,67944$$

$$12,53 \leq 33,68 \quad \text{(memenuhi)}$$

STABILITAS PIPA BAWAH LAUT - TEORI GELOMBANG STOKES ORDE 2

SKENARIO B3-B

kedalaman =	6,00 m
HWL =	1,76 m
T =	6,60 s
H =	0,70 m
d =	7,76 m

$$\frac{d}{T^2} = 0,178$$

$$\frac{H}{T^2} = 0,016$$

Berdasarkan grafik Region of Validity (Chakrabarti, 1987) maka digunakan teori gelombang STOKES ORDE 2

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = 68,045 \text{ m}$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right)$$

$$L = 41,82 \text{ m}$$

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right)$$

$$C = 6,34 \text{ m/s} \quad k = 0,15018$$

Kecepatan partikel air

$$U = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta$$

pada $Y_o = 1$ meter dari seabed maka $z = -7,76 \text{ m}$
kecepatan maksimal pada saat $t = 0$, maka

$$U_{\max} = 0,46 \text{ m/s}$$

$$U_e^2 = 0,778 U_0^2 \left(\frac{D}{Y_o} \right)^{0,286}$$

$$U_e = 0,37 \text{ m/s}$$

Angka Reynold

$$R_e = \frac{U_e D}{\nu}$$

$$Re = 17916,83 \quad D = 0,48 \text{ m}$$

Sehingga koefisien hidrodinamikanya:

$$\begin{aligned} C_d &= 1,47 \\ C_L &= 1,16 \\ C_i &= 2,00 \end{aligned}$$

Gaya-gaya hidrodinamis

$$\begin{aligned} F_d &= 50,39 \text{ kg/m} \\ F_l &= 39,90 \text{ kg/m} \\ F_i &= 0,00 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Berat submerged dari pipa yang disyaratkan:

$$W = 140,69 \text{ kg/m}$$

SYARAT STABILITAS LATERAL

$$\begin{aligned} S (F_d + F_i) &\leq \mu (W_s - F_l) \\ 55,43 &\leq 60,47215 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

SYARAT STABILITAS VERTIKAL

Syarat 1

SG float \leq SG pipa

$$\text{SG float} = \rho_{\text{air laut}} / \rho_{\text{air murni}} = 1025/1000 = 1,025$$

SG pipa = $\rho_{\text{pipa}} / \rho_{\text{air murni}}$

$$\rho_{\text{pipa}} = 11936,33$$

$$\text{SG pipa} = 11,93633$$

$$1,025 \leq 11,94 \quad \text{(memenuhi)}$$

Syarat 2

SG pipa \leq SG sink

$$\text{SG sink} = SG_{\text{soil}} + \frac{2C}{\rho_{\text{air}} D}$$

$$\text{SG soil} = \frac{\gamma_d (1 + e)}{\gamma_w}$$

$$\text{SG soil} = 26,53659$$

$$\text{SG sink} = 33,67944$$

$$11,94 \leq 33,68 \quad \text{(memenuhi)}$$

STABILITAS PIPA BAWAH LAUT - TEORI GELOMBANG STOKES ORDE 2

SKENARIO B3-C

kedalaman =	6,00 m
HWL =	1,76 m
T =	6,60 s
H =	0,70 m
d =	7,76 m

$$\frac{d}{T^2} = 0,178$$

$$\frac{H}{T^2} = 0,016$$

Berdasarkan grafik Region of Validity (Chakrabarti, 1987) maka digunakan teori gelombang STOKES ORDE 2

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = 68,045 \text{ m}$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right)$$

$$L = 41,82 \text{ m}$$

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_o}\right)$$

$$C = 6,34 \text{ m/s} \quad k = 0,15018$$

Kecepatan partikel air

$$U = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta$$

pada $Y_0 = 1$ meter dari seabed maka $z = -7,76 \text{ m}$
kecepatan maksimal pada saat $t = 0$, maka

$$U_{\max} = 0,46 \text{ m/s}$$

$$U_e^2 = 0,778 U_0^2 \left(\frac{D}{Y_0} \right)^{0,286}$$

$$U_e = 0,37 \text{ m/s}$$

Angka Reynold

$$R_e = \frac{U_e D}{\nu}$$

$$Re = 18663,36 \quad D = 0,5 \text{ m}$$

Sehingga koefisien hidrodinamikanya:

$$\begin{aligned} C_d &= 1,47 \\ C_L &= 1,16 \\ C_i &= 2,00 \end{aligned}$$

Gaya-gaya hidrodinamis

$$\begin{aligned} F_d &= 52,40 \text{ kg/m} \\ F_l &= 41,51 \text{ kg/m} \\ F_i &= 0,00 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Berat submerged dari pipa yang disyaratkan:

$$W = 146,32 \text{ kg/m}$$

SYARAT STABILITAS LATERAL

$$\begin{aligned} S (F_d + F_i) &\leq \mu (W_s - F_l) \\ 57,64 &\leq 62,88521 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

SYARAT STABILITAS VERTIKAL

Syarat 1

$$SG_{\text{float}} \leq SG_{\text{pipa}}$$

$$SG_{\text{float}} = \rho_{\text{air laut}} / \rho_{\text{air murni}} = 1025/1000 = 1,025$$

$$SG_{\text{pipa}} = \rho_{\text{pipa}} / \rho_{\text{air murni}}$$

$$\rho_{\text{pipa}} = 11400,26$$

$$SG_{\text{pipa}} = 11,40026$$

$$1,025 \leq 11,4 \quad \text{(memenuhi)}$$

Syarat 2

$$SG_{\text{pipa}} \leq SG_{\text{sink}}$$

$$SG_{\text{sink}} = SG_{\text{soil}} + \frac{2C}{\rho_{\text{air}} D}$$

$$SG_{\text{soil}} = \frac{\gamma_d (1 + e)}{\gamma_w}$$

$$SG_{\text{soil}} = 26,53659$$

$$SG_{\text{sink}} = 33,67944$$

$$11,4 \leq 33,68 \quad \text{(memenuhi)}$$



LAMPIRAN E
PERHITUNGAN PROTEKSI KATODIK

PERHITUNGAN PROTEKSI KATODIK PIPA OUTFALL

$$I_c = A_c f_b i_c \quad M_t \geq \frac{8760 I_{cm} t_d}{u_f \varepsilon_e}$$

$$R_a = \frac{0,315 \rho_l}{\sqrt{A_e}} \quad n_a c_a \geq 8760 I_{cm} t_d$$

$$c_a = m_a \varepsilon_e u_f \quad I_a = \left(\frac{E_c^0 - E_a^0}{R_a} \right)$$

$$n_a = \frac{I_{cfr}}{I_{af}}$$

DATA PIPA OUTFALL

D =	0,46	m	
t =	0,1	m	
Ac =	5777,60	m ²	
L =	2000,00	m	
fb =	initial	0,01	1%
	mean	0,03	3%
	final	0,05	5%
ic =	initial	0,85	mA/m ²
(coat steel)	mean	1,6	mA/m ²
	final	3,2	mA/m ²
td =	20 tahun		
uf =	0,9 (long slender)		
ρ =	0,35 Ohm.m		
εe =	2028 Ajam/kg		
Ec =	-0,9 V		
Ea =	-1,1 V		

TIPE ANODE

Material anode	indium activated aluminium		
Density anode	2750	kg/m ³	
Lebar anode	0,11	m	
Tinggi anode	0,11	m	
Panjang anode	2,02	m	
Luas anode	0,22	m ²	
Massa anode	65,50	kg	
Kapasitas arus anode	initial	0,345	A
	mean	0,345	A
	final	0,345	A

ANODE

Arus yang dibutuhkan =	initial	49,11	mA
	mean	277,32	mA
	final	320,00	mA
Total berat anode =	initial	4714,005	kg
	mean	26620,26	kg
	final	30716,63	kg

Tahanan *anode* = 0,496175
 Ca = initial 119550,6
 mean 119550,6
 final 119550,6

na = initial 142,35 unit
 mean 803,84 unit
 final 927,54 unit

$$n_a c_a \geq 8760 I_{cm} t_d$$

initial	17017629,41	≥	8604002	memenuhi
mean	96099554,3	≥	48587305	memenuhi
final	110887513	≥	56064000	memenuhi

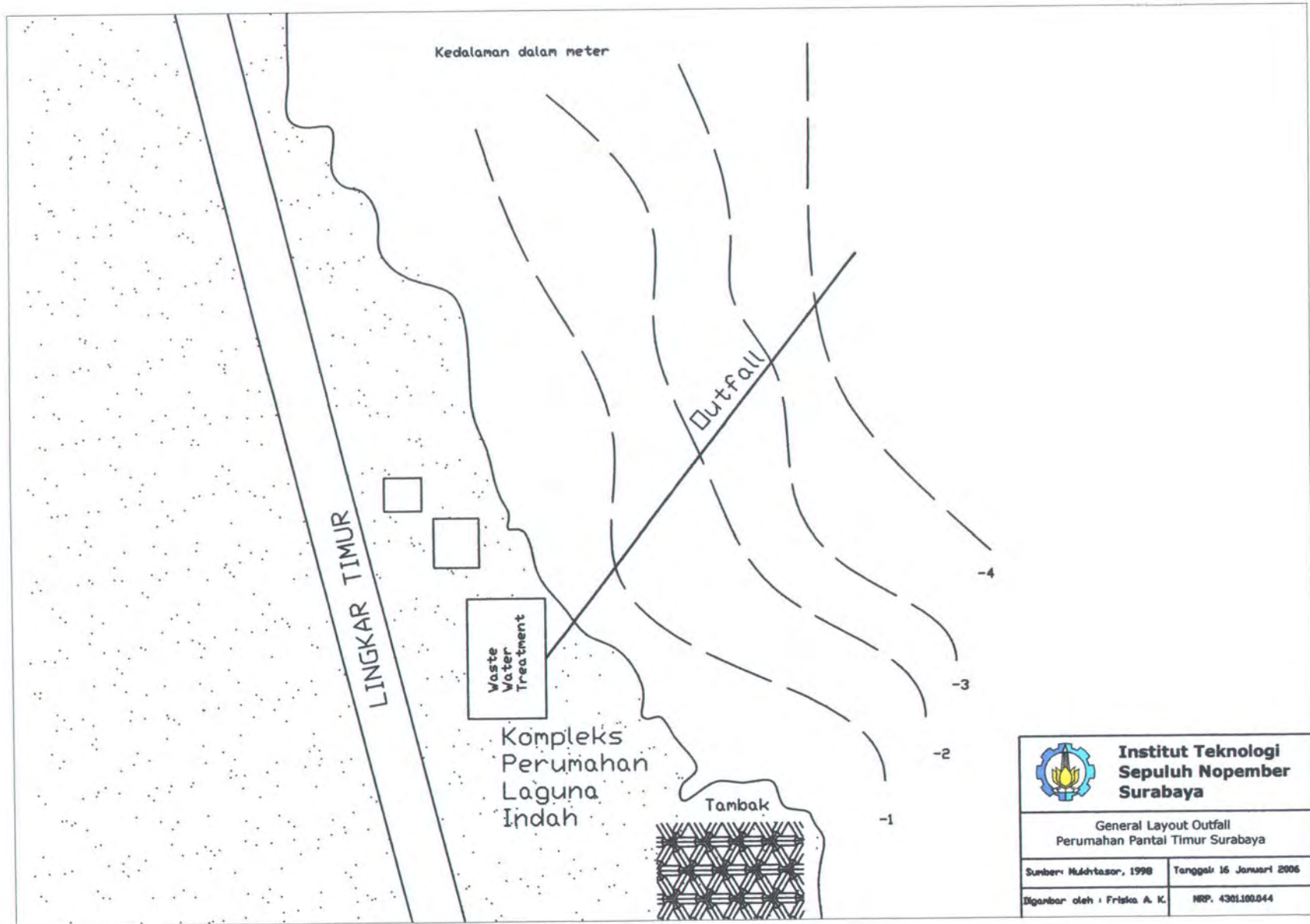
la = 0,40

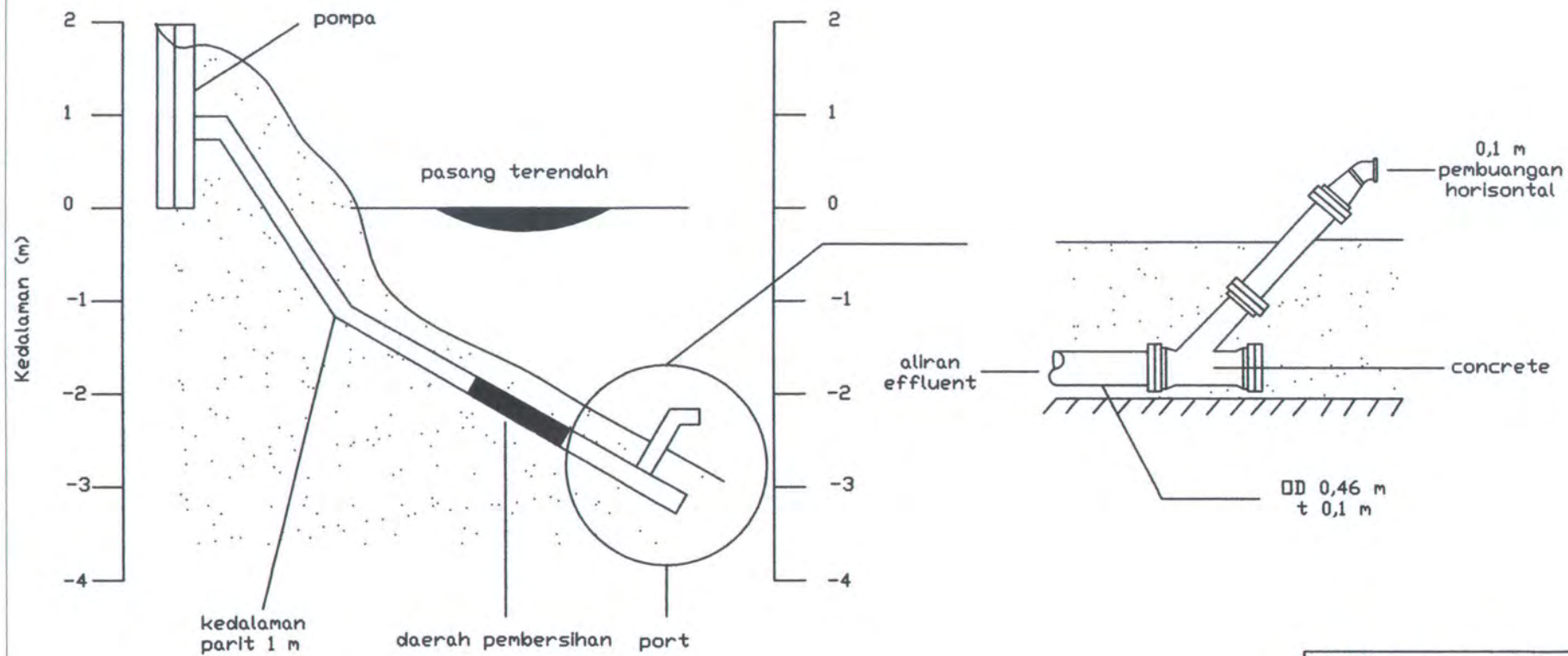
$$n_a I_a \geq I_c$$

initial	57,38	≥	49,11	memenuhi
mean	324,01	≥	277,32	memenuhi
final	373,87	≥	320,00	memenuhi



LAMPIRAN F
DESIGN DRAWING





**Institut Teknologi
Sepuluh Nopember
Surabaya**

**Gambar Detail
Ocean Outfall**

Sumber: MAdhtasar, 1998

Tanggal: 16 Januari 2006

Digambar oleh: Friska A. K.

NRP. 4301100.044

